ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PONTONES DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FÓRMULA SAE MEDIANTE FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH".

LLERENA NARANJO ALEXANDER LEONEL

MAYGUALEMA LEÓN CRISTHIAN HERNÁN

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA–ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

ALEXANDER LEONEL LLERANA NARANJO

Titulada:

"**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PONTONES DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE MEDIANTE FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH"**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Abad Padilla Padilla.
DIRECTOR

Ing. Milton Israel Quinga Morales.
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-05-04

Yo recomiendo que el trabajo de Titulación preparado por:

CRISTHIAN HERNÁN MAYGUALEMA LEÓN

Titulada:

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Celin Abad Padilla Padilla.
DIRECTOR

Ing. Milton Israel Quinga Morales.
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALEXANDER LEONEL LLERENA NARANJO

TITULO: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PONTONES DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE MEDIANTE FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH"

Fecha de Examinación: 2018-10-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos **PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla. **DIRECTOR**			
Ing. Milton Israel Quinga Morales. **ASESOR**			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CRISTHIAN HERNÁN MAYGUALEMA LEÓN

TÍTULO: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PONTONES DE UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE MEDIANTE FIBRA DE CARBONO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH"

Fecha de Examinación: 2018-10-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Jóse Francisco Pérez Fiallos **PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**			
Ing. Celin Abad Padilla Padilla. **DIRECTOR**			
Ing. Milton Israel Quinga Morales. **ASESOR**			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Alexander Leonel Llerena Naranjo

Cristhian Hernán Maygualema León

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Alexander Leonel Llerena Naranjo y Cristhian Hernán Maygualema León declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Alexander Leonel Llerena Naranjo

Cristhian Hernán Maygualema León

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a mis padres, que con su esfuerzo y dedicación han logrado formarme como persona siguiendo los valores impartidos y que con su ejemplo han hecho lo mejor de mí. A mi hermana y mi sobrina quienes han sido fuente de inspiración para seguir adelante con el objetivo propuesto. A mi compañero de tesis y a la vez mejor amigo quien ha compartido conmigo años de estudio y de amistad. Y a toda mi familia quienes han sido pilar fundamental para conseguir este título.

Alexander Leonel Llerena Naranjo

Dedico el trabajo de titulación a mis padres que son el pilar fundamental en mi vida gracias por absolutamente todo, que con sus enseñanzas de vida me han formado como una persona correcta, han estado en las buenas y en las malas dándome ánimo para seguir durante toda mi vida estudiantil los amo con mi vida, a todos mis hermanos que con sus consejos he aprendido a ser una persona que sale de cualquier adversidad, a mi angelito Luis Humberto que me cuida desde el cielo me haces falta, compartíamos muchas cosas en la niñez y parte de mi adolescencia, por último a mi compañero de tesis a mi mejor amigo que nos conocimos por situaciones de la vida y formamos una gran amistad.

Cristhian Hernán Maygualema León

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de haber terminado mi carrera, a mis padres por el apoyo brindado tanto moral como económicamente, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la planta docente y administrativa de la Carrera de Ingeniería Automotriz, a la empresa SETMIX por el auspicio brindado para la construcción del prototipo, a mis familiares, amigos y a todos aquellos que de una u otra manera aportaron para llegar a esta meta.

Alexander Leonel Llerena Naranjo

Agradezco a Dios por la vida y la salud, a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado durante esta etapa de mi vida por ser el pilar fundamental, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz por los conocimientos impartidos, a la empresa SETMIX por el auspicio del producto para la construcción del prototipo, a la empresa Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero por la ayuda que nos brindó, a mi familia, hermanos y amigo.

Cristhian Hernán Maygualema León

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO III

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

INDICE DE TABLAS

RESUMEN

Se realizó el análisis y construcción de la propuesta tecnológica para la implementación de los pontones de un vehículo de competencia Fórmula SAE empleando fibra de carbono, para la Carrera de Ingeniera Automotriz de la ESPOCH, utilizando el reglamento vigente SAE 2017-2018, y con ello teniendo restricciones para su respectivo diseño y construcción, además se investigó las características adecuadas que debe reunir los pontones para generar un buen comportamiento aerodinámico, para todo esto se realizaron tres diseños con la ayuda del software Solidwork para la modelación en CAD, una vez diseñados se analizó el comportamiento de cada uno de los modelos al momento de interactuar con el aire con la ayuda de ANSYS 18.0 en el paquete *Fluid Flow*, en donde se simuló el comportamiento de los tres diseños, para posteriormente elegir el más adecuado, basándose en características relacionadas a la parte aerodinámica de vehículos de competencia, como poseer un coeficiente de arrastre bajo, eliminar en su mayor parte las turbulencias, generar un coeficiente de sustentación adecuado para el efecto piso y que ayude a la refrigeración del radiador y motor. Comprobado su funcionalidad y su eficiencia se procede a la construcción, donde se utilizó madera para la elaboración de la matriz negativa y para la fabricación de los moldes se utilizó fibra de vidrio, con lo cual se construyen los pontones en fibra de carbono bidimensional saturada con resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B, todo este proceso siendo justificado mediante ensayos de tracción, flexión e impacto cumpliendo normas ASTM a probetas del mismo material, para finalmente darle un acabado en pintura de poliuretano similar a la de un vehículo convencional. Como resultado se mejoró el diseño, se consiguió la rigidez adecuada y la funcionalidad de los pontones, siendo eficientes y mejorando la aerodinámica del vehículo Fórmula SAE.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <FIBRA DE CARBONO BIDIMENSIONAL>, <AERODINÁMICA>, <FÓRMULA SAE>, <MATRIZ NEGATIVA>, <COEFICIENTE DE ARRASTRE>, <COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN>, <SOFTWARE (ANSYS 18.0) >.

ABSTRACT

The present abstract has got as main objective to get this technological proposal in order to implement the Formula SAE car race vehicle pontoons applying carbon fiber to run during ESPOCH Automotive Engineering car race through getting the SAE 2017-2018current regulation and with this to get some restrictions to use for its corresponding manufacturing process and design besides it was researched the suitable characteristics must be fulfilled to generate a very good aerodynamic performance that was why there were manufactured there designs taking into account Solid work software to model that through CAD, after getting designed those it was analyzed each model performance while they were interacting with air through ANSYS 18.0 Fluid Flow packet where it was simulated those there designs performance to continue afterwards selecting the most suitable basing on those characteristics related to the car race vehicle aerodynamic part, such as a low dragging coefficient through eliminating some disturbances generating a suitable lift coefficient for the most part addressed towards the floor effect and which will get the engine and radiator refrigeration. After having tested its efficiency and functionality it is going to proceed with the corresponding manufacturing where some timber was used to obtain the negative matrix to manufacture the two-dimensional carbon pontoons saturated whit epoxy resin 65 % (pofix 300 A type)adding catalytic converter 35% B type, this whole process must be taken into account through wheel drive, deflection and impact by fulfilling ASTM regulations in the same material test piece in order to get a polyurethane well planned professionally completed and painted exterior similar to that from the conventional vehicle. As a result its design was improved, it was possible to get the appropriate rigidity and the pontoons functionality getting to become efficient and improving the SAE Formula aerodynamic vehicle.

Keywords :<TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <CARBON FIBER>, <TWO-DIMENSIONAL>, <AERODYNAMIC>, <SAE FORMULA>, <MATIX>, <DRAGGING COEFFICIENT>, <LIFT COEFFICIENT>, <ANSYS 18.0, (SOTWARE) >

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de titulación tiene como propósito diseñar e implementar los pontones de un vehículo de competencia Fórmula SAE, dichos pontones son dispositivos aerodinámicos que tienen como finalidad dirigir el flujo de aire en forma conveniente para una eficiencia aerodinámica general y ayudar a la refrigeración del sistema mecánico del vehículo, además nos ayudará a mejorar su rendimiento tomando en cuenta la normativa SAE 2017-2018; con este trabajo se quiere mejorar el diseño y las propiedades físicas y mecánicas de este, ya que se utilizará un material distinto al del prototipo anterior, logrando que sea más resistente que la fibra de vidrio para mejorar sus prestaciones.

El diseño aerodinámico de los pontones nos ayuda a mejorar el rendimiento en altas velocidades, disminuir el coeficiente de arrastre, el cual se mide por la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo.

Los pontones generan resistencia aerodinámica, pero son necesarios para refrigerar el motor, canalizar mejor el aire en la entrada de los radiadores, separar el flujo de aire en las ruedas posteriores, generar empuje vertical, dirigir el flujo de aire para que incida mejor en el alerón posterior por lo cual es importante su diseño aerodinámico

El objetivo del proyecto es realizar el diseño aerodinámico teniendo en cuenta el hecho de mejorar el coeficiente de resistencia al avance mediante un diseño eficiente sin perjudicar la seguridad, además aprovechar al máximo el rendimiento del vehículo generado por el motor, logrando velocidades elevadas y obteniendo mejores resultados de consumo de combustible.

CAPÍTULO I

1. Generalidades.

El uso de materiales compuestos se ha convertido en eje principal para la industria general debido a las grandes prestaciones que brinda, y es ahí en donde la industria automotriz ha sido partícipe de este gran desarrollo, ayudando a la construcción de autopartes y mejorando ámbitos como resistencia, desgaste, aerodinámica, rendimiento y seguridad.

La industria automotriz ha logrado grandes avances con la utilización de materiales compuestos, y es por eso que amerita un estudio a fondo de las propiedades de cada uno de estos y su comportamiento en diferentes situaciones, como impacto o choques frontales, traseros o laterales; además la relación peso – consumo, que es uno de los principales requerimientos del consumidor final.

En el marco de la investigación planteada, referido al diseño e implementación de los pontones de un vehículo de la Fórmula SAE 2017-2018, se define la metodología investigativa y constructiva que se utiliza con el fin de seguir un procedimiento físico y teórico preciso y guiar todo el proceso de exploración desde la recolección de los datos hasta los últimos detalles y alcanzar los objetivos planteados.

Para el siguiente trabajo se acatan las normas de construcción de la Fórmula SAE 2017-2018, en las cuales aseguran que el vehículo trabaje de forma correcta y sobre todo de forma segura para los participantes. Cabe recalcar que trabajamos en un prototipo ya construido anteriormente a base de fibra de vidrio y ahora lo que buscamos es mejorar dicho diseño trabajando con fibra de carbono.

1.1. Antecedentes.

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) convoca a estudiantes de todas las universidades a participar en una competencia de construcción de vehículos con materiales alternos, como fibras naturales,un ejemplo de este tipo de material es la fibra de coco, boyacá, bambú, palma e incluso la cabuya, con la cual ya se realizó un prototipo de piso para un Fórmula SAE. Por otro lado tenemos fibras de tipo sintetico como fibra de vidrio o de carbono, teniendo en cuenta que se debe

mejorar diferentes parámetros como seguridad de impacto, peso, consumo de combustible, mejorar la aerodinámica y resistencia mecánica.

“La Fórmula SAE ® tiene como finalidad el desafío para aquellos universitarios de pregrado y posgrado de diseñar, fabricar vehículos pequeños para participar en competencias con el mismo estilo de la fórmula” 1. (Sae, 2017)

En la actualidad los fabricantes se preocupan por el diseño aerodinámico de los vehículos con el objetivo de mejorar el rendimiento en altas velocidades, disminuir el coeficiente de resistencia al avance el cual se mide por la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo.

1.2. Justificación

El objetivo del proyecto es diseñar los pontones del vehículo Fórmula SAE, teniendo en cuenta aspectos aerodinámicos, peso, resistencia al impacto, reducción de consumo de combustible, mejorar el efecto piso y reducir el coeficiente de resistencia al avance mediante un diseño eficiente, sin perjudicar la seguridad o el rendimiento del vehículo para aprovechar la potencia generada por el motor, logrando velocidades elevadas y obteniendo mejores resultados aerodinámicos.

Contribuir con el proyecto planteado por la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la finalidad de que dicho vehículo llegue a competir a nivel internacional en la Fórmula SAE una vez que el proyecto esté completo, mencionar que para el apoyo de este proyecto se aplica los conocimientos impartidos en cada una de las materias durante toda la malla curricular, todo esto en conjunto ayuda de una u otra forma a que la carrera se distinga y marque presencia a nivel mundial.

Mejorar la aerodinámica, seguridad y la velocidad del vehículo de competencia de Fórmula “SAE”, nos ha llevado a elegir un nuevo elemento para el diseño y construcción de los pontones en fibra de carbono, debido a las propiedades de este material; debido a la notable reducción en el peso y su incremento considerable a la resistencia de impacto.

Cabe recalcar que lo que busca la competencia de Fórmula “SAE”, es mejorar parámetros de seguridad de impacto y peso con materiales alternos y es ahí en donde se enfoca, buscando un material accesible para el mejoramiento del vehículo.

Los pontones generan resistencia aerodinámica, pero son necesarios para refrigerar el motor, canalizar mejor el aire en la entrada de los radiadores, separar el flujo de aire en las ruedas posteriores, generar empuje vertical, dirigir el flujo de aire para que incida mejor en el alerón posterior por lo cual es importante su diseño aerodinámico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Diseñar e implementar los pontones, mediante la utilización de software CAD y empleando materiales compuestos en un vehículo de competencia Fórmula SAE para mejorar la aerodinámica y disminuir el coeficiente de resistencia al avance.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el reglamento vigente, mediante la recopilación de información de la norma SAE, para realizar el diseño y construcción de los pontones.
- Realizar el diseño y la simulación aerodinámica utilizando software CAD para verificar la eficiencia y el comportamiento aerodinámico de los pontones.
- Identificar y aplicar el proceso de manufactura adecuado para la elaboración de los pontones en fibra de carbono que facilite el proceso de construcción.
- Construir los moldes utilizando materiales compuestos siguiendo los parámetros de diseño y medidas obtenidos en el software.
- Construir los pontones del vehículo utilizando materiales compuestos, mediante el proceso de manufactura adecuado.
- Implementar los pontones en el vehículo utilizando un proceso de ensamble adecuado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fórmula SAE

La Fórmula SAE es una competencia conocida a nivel mundial en la cual participan diferentes universidades del mundo, los participantes deben calificar las diferentes pruebas de diseño, construcción, puesta a punto y conducción por parte de los estudiantes de la competencia.

La competencia está organizada por el *Institution of Mechanical Engineers (IMechE),* con el fin de simular situaciones de una empresa de competición, el vehículo debe satisfacer prestaciones en aceleración, frenado y estabilidad.

La Fórmula SAE posee tres categorías de competencia de los monoplazas que son las siguientes: Clase 3. Es una categoría de inicio para los equipos nuevos, quienes participan en esta categoría son vehículos en fase de diseño y certificación del modelo. La normativa para impulsar el progreso, no se presentará un equipo a esta categoría dos años consecutivos, teniendo que participar en las categorías superiores. Hay excepciones para aquellos equipos que se presenten a las clases 2 o 1. Se calificaran las pruebas de diseño, presentación y costo.

Clase 2. Es la categoría para los equipos que aprueben los requisitos básicos de diseño inicial y que han logrado construir un vehículo por completo. El requisito mínimo de esta categoría para entrar es disponer de un chasis completo.

Clase 1. En la siguiente categoría participan los vehículos construidos y terminados en su totalidad es la más importante de todas, existe una regla que un vehículo solamente puede participar durante 12 meses obligando a los respectivos equipos a fabricar monoplazas nuevos permitiendo reutilizar componentes antiguos.

Dentro de esta categoría existe la serie 200 en la que pueden participar monoplazas de 2 años de antigüedad, en la categoría se califica el diseño, presentación, coste, aceleración, *skidpad*, auto-cross y consumo de combustible. Los respectivos equipos son calificados por jueces especializados del sector, deben superar diversas pruebas estáticas y dinámicas demostrando el funcionamiento correcto del monoplaza.

2.1.1. Pruebas estáticas

Con las pruebas estáticas se califican aspectos que no corresponden a la mecánica del vehículo, las pruebas son calificadas por jueces con experiencia en los cuales dan su punto de vista para tomar decisiones.

En esta prueba el equipo debe convencer a los a ejecutivos de una firma constructora que su diseño es el mejor que satisfagan los requerimientos de los pilotos y justificar las decisiones tomadas en el diseño.

2.1.2. Diseño

En esta etapa los jueces califican el diseño del monoplaza, en este proceso los equipos justificarán las decisiones y los componentes utilizados. Los equipos deben presentar un informe donde especifique el diseño pruebas y análisis que lo respalden.

2.1.3. Análisis de costos

El objetivo de análisis de costos es la explicación y justificación detallada del coste de todas las partes del monoplaza, se debe incluir todos los gastos con su respectivo detalle, como pueden ser operaciones de mecanizado de las piezas, horas de fabricación, cantidad de material utilizado e incluso costo de tornillería.

2.1.4. Pruebas Dinámicas

En las siguientes pruebas tienen como objetivo verificar el comportamiento del vehículo, en estas pruebas el monoplaza es conducido por una persona del equipo participante. Para poder acceder a las pruebas dinámicas se debe aprobar cuatro inspecciones. Comienza con una inspección técnica donde verifican que el auto cumpla con normativa y que no sea un peligro para la seguridad. La siguiente prueba a superar es de vuelco, la tercera de ruido y la última de reducción de velocidad mediante el accionamiento de los frenos, si los equipos reprueban una de las revisiones posee una nueva oportunidad para corregir las imperfecciones de las pruebas realizadas.

2.1.5. Aceleración

Es donde se pone a prueba la capacidad de aceleración del monoplaza, recorre una recta de 75 metros con el vehículo parado al inicio, se prueba el rendimiento del motor, la eficiencia de la caja de cambios y por último la suspensión. La siguiente ecuación determina la puntuación en la cual Tyour es el tiempo del equipo a puntuar y Tmin del vehículo más rápido la ecuación es la siguiente:

$$aceleración\ puntuación = 71{,}5 * \frac{\frac{T_{max}}{T_{your}} - 1}{\frac{T_{max}}{T_{min}} - 1} + 3{,}5 \qquad (1)$$

2.1.6. Prueba del 8 (skidpad)

En la siguiente prueba se comprueba la capacidad de realizar giros de radio constante en una superficie plana, con esta prueba se verifica la capacidad máxima de adherencia lateral. Esta prueba consta de dos círculos los cuales están marcados por conos situados en un diámetro de 15,25 m. y conos exteriores de diámetro 21,25 m., en el centro las dos circunferencias están separadas por 18,25 metros, en esta prueba el monoplaza debe dar dos giros a una de los círculos en sentido del giro de las manecillas del reloj y otras dos en sentido contrario, el monoplaza debe pasar por las circunferencias de una a otra describiendo el número 8.

2.1.7. Auto-cross

Aquí se comprueba el comportamiento dinámico del monoplaza, consiste en terminar el circuito de 800 metros aproximadamente donde existen rectas, curvas rectas, curvas lentas y slaloms. Con esta prueba se quiere verificar la capacidad de aceleración.

2.1.8. Resistencia y consumo

Es el *test* más importante de la competición es la prueba, donde evalúan aspectos como la fiabilidad y el consumo en una longitud de 22 km, la prueba es realizada por dos pilotos cada uno la mitad de la prueba, poseen un tiempo de 3 minutos para realizar el cambio del piloto

2.2. Historia

Los inicios de la competencia se realizaron en EE.UU. con el nombre de Formula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices), su origen se inició en el año de 1981, en la universidad de Texas, estaban formados 6 equipos por 40 estudiantes que competían con sus monoplazas.
En el año de 1998 se celebró el primer evento fuera de EE.UU. En ese mismo año dos monoplaza de Estados Unidos y de Inglaterra compitieron en el área de pruebas de MIRA, en el condado de Warwickshire, Inglaterra. La "Institución de Ingenieros Mecánicos" de Inglaterra, aceptó la realización del evento Europeo con unión de la SAE, el evento fue denominado Fórmula *Student*, con ligeras variaciones, porque se enfoca en el progresivo aprendizaje durante tres a cuatro años académicos. Pero utilizan las mismas reglas tanto para la Formula SAE y la Formula *Student.*

Con el transcurso del tiempo se realizó la competencia en otros países como Australia, Alemania, Japón, Brasil, etc. En todos los países donde se realizan el evento se rigen a la misma normativa de la Fórmula SAE, llegan a participar 120 equipos y un poco más de 2000 estudiantes.

2.3. Reglamento Fórmula SAE 2017-2018

De acuerdo a la última actualización del reglamento de la Fórmula SAE 2017-2018, se toma los ítems que conciernen a los dispositivos aerodinámicos:

Artículo 9: dispositivos aerodinámicos

"T9.1 Aerodinámica y efecto suelo-general

Todos los dispositivos aerodinámicos deben cumplir los siguientes requisitos en conjunto de vehículo" (Sae, 2017, p. 67)

T9.2 Ubicación - Dispositivos de montaje frontal

T9.2.1 En la vista en planta, ninguna parte de ningún dispositivo aerodinámico, aleta, bandeja inferior o separador puede ser:

a. *Más adelante de 700 mm (27.6 pulgadas) adelante de los frentes de los neumáticos delanteros*
b. *Más ancho que el exterior de los neumáticos delanteros medidos a la altura de los cubos.* (Sae, 2017, p. 67)

T9.2.2 Cuando se ve desde la parte delantera del vehículo, la parte de las ruedas / neumáticos delanteros que son más de 250 mm (9.8 pulgadas) sobre el nivel del suelo no debe ser obstruido por ninguna parte del dispositivo aerodinámico, con la excepción de una superficie vertical única por lado (por ejemplo, placas terminales) que no debe oscurecer la vista frontal del neumático en más de 25 mm, medido lateralmente.

Nota: 9.2.1 y 9.2.2 se aplican con las ruedas en posición recta (Sae, 2017, p. 67)

T9.3 Ubicación de dispositivos montados en la parte trasera:

T9.3.1 En la vista en planta, ninguna parte de ningún dispositivo aerodinámico, ala, plataforma inferior o separador debe ser:

a. Más hacia atrás que 250 mm (9.8 pulgadas) hacia atrás de la parte trasera de los neumáticos traseros

b. *Más hacia la parte delantera, vista en un plano vertical y mirado desde la parte más retrasada hacia la vista frontal de dicho soporte del apoyacabeza del conductor, sin incluir cualquier tipo de relleno, en su posición completamente en dirección hacia atrás (sin incluir los sub tramas.)*

c. *Más ancho que la parte interna de los neumáticos posteriores, de forma que se mida desde la altura de la línea central de cubo* (Sae, 2017, p. 68).

"T9.3.2 En alzado lateral, ninguna parte del alerón trasero o dispositivo aerodinámico (incluidas las placas terminales) debe estar a más de 1,2 metros del suelo cuando se mide sin un conductor en el vehículo." (Sae, 2017, p. 68)

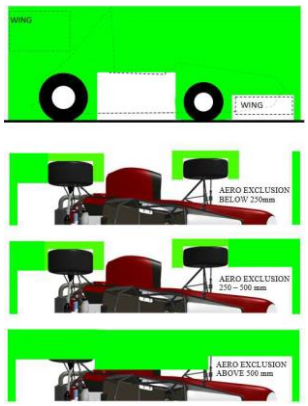


Figura 2-1*:* Ubicación de dispositivos montados en la parte trasera

Fuente: http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%20PRELIMINARY.pd

T9.4 Ubicación - General

T9.4.1 Entre las líneas centrales de los ejes de las ruedas delantera y trasera, un dispositivo aerodinámico (por ejemplo, subestructura) puede extenderse hacia afuera en una vista

plana a una línea trazada que conecta las superficies externas de los neumáticos delanteros y traseros a la altura de los centros de la rueda.

T9.4.2 Excepto lo permitido por T9.3.1, cualquier dispositivo aerodinámico u otra carrocería, ubicada entre el plano vertical transversal colocado en las líneas centrales del eje delantero y trasero no deben exceder una altura de 500 mm (19,7 pulgadas) sobre el suelo cuando se mide sin un conductor en el vehículo. (La carrocería dentro de los planos verticales de proa y popa establecidos a 400 mm (15.75 pulgadas) fuera de borda desde la línea central a cada lado del vehículo es excluidos de este requisito). Las zonas de Mantener de T2.1 (3) no se deben infringir. (Sae, 2017, p. 68)

T9.5 Radios mínimos de bordes de dispositivos aerodinámicos

T9.5.1 Todos los bordes de ala orientados hacia adelante incluyendo alas, placas de extremo, aletas Gurney, billetes de mimbre y bajos que podrían entrar en contacto con un peatón deben tener un radio mínimo de 5 mm (0,2 pulgadas) para todos los bordes horizontales y 3 mm (0,12 pulgadas) para vertical bordes (placas finales). Estos requisitos de radio deben lograrse con componentes fijados permanentemente y con el propósito específico de diseño para cumplir con este requisito de radio.

Por ejemplo, empujar piezas de tubo partido confiando en la fricción para la retención no es un método de ingeniería satisfactorio para lograr los radios. (Sae, 2017, p. 69)

T9.6 Dispositivos de efecto de tierra

"No se puede usar ningún dispositivo de potencia para mover o eliminar el aire de debajo del vehículo, excepto los ventiladores diseñados exclusivamente para enfriamiento.

Los efectos de tierra de energía están prohibidos" (Sae, 2017, p. 69)

T9.7 Estabilidad y resistencia de dispositivos aerodinámicos

T9.7.1 Todos los dispositivos aerodinámicos deben diseñarse de manera que el sistema de montaje proporcione la rigidez adecuada en la condición estática y que los dispositivos aerodinámicos no oscilen o se muevan excesivamente cuando el vehículo se está moviendo. En la inspección técnica esto se controlará presionando los dispositivos aerodinámicos en cualquier dirección y en cualquier punto.

NOTA: Lo siguiente debe verse como una guía sobre cómo se aplicará esta regla, pero la conformidad real recaerá en los inspectores técnicos en las respectivas competiciones. El objetivo general es reducir la probabilidad de que las alas se desprendan de los automóviles mientras compiten.

1. Si la deflexión es significativa, se puede aplicar una fuerza de aproximadamente 200 N y la deflexión resultante no debe ser mayor de 25 mm y cualquier desviación permanente menor de 5 mm.

2. Si se observa que un vehículo en la pista tiene movimientos aerodinámicos grandes e incontrolados, los oficiales tendrán derecho a marcar con bandera negra el automóvil para su inspección y el automóvil puede ser excluido de esa carrera y hasta que problema identificado se rectifica. (Sae, 2017, p. 69)

2.4. Consideraciones aerodinámicas para el diseño de los pontones

Para el diseño de los pontones se considera parámetros aerodinámicos, y se toma en cuenta la zona principal de influencia que actúa con el paso del viento, para así tomar decisiones acerca de un futuro modelo a realizar.

Influencia zonas laterales

Si se realiza una curva desde un plano horizontal la superficie lateral reduce el coeficiente de resistencia aerodinámico de avance de manera normal, pero si aumentamos su área frontal en el diseño de los pontones beneficia o penaliza su forma. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 57)

Figura 2-2: Pontones laterales con diseño de superficie curva

Fuente: IZQUIERDO Aparicio, Teoría de los vehículos automóviles

Tipos de perfiles posteriores

La resistencia aerodinámica al avance es de suma importancia ya que depende del tipo de perfil, pueden existir diferentes pérdidas de presión y de aire. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 57)

Tipos de perfiles posteriores:

- Tipo cuadrado
- Tipo inclinado
- Tipo escalón

Tipo cuadrado

Este tipo de perfil ayuda a originar la separación que forma vórtices en direcciones perpendiculares al flujo. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 58)

Figura 2-3: Perfil cuadrado

Fuente: IZQUIERDO Aparicio, Teoría de los vehículos automóviles

Tipo inclinado

Este tipo de perfil ayuda a generar flujos con dos vórtices en dirección longitudinal. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 58)

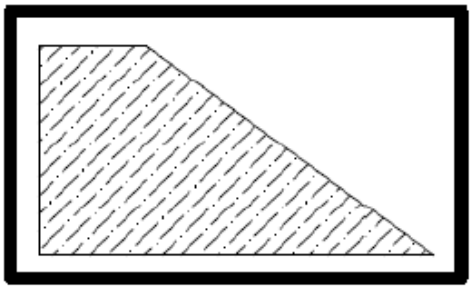


Figura 2-4: Perfil inclinado

Fuente: IZQUIERDO Aparicio, Teoría de los vehículos automóviles.

Tipo escalón

Este tipo de perfil genera un flujo mixto tanto longitudinal como perpendicular. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 58)

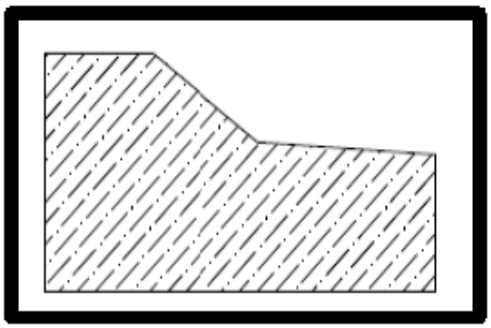


Figura 2-5: Perfil tipo escalón

Fuente: IZQUIERDO Aparicio, Teoría de los vehículos automóvil.

Tabla comparativa

Al observar los tipos de perfiles el más eficiente por poseer un coeficiente de resistencia al avance bajo es el perfil tipo inclinado, después es el perfil cuadrado y por último el perfil tipo escalón. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 59)

Tabla 2-1: Comportamiento de los perfiles mediante la resistencia aerodinámica

Tipo	Cx	Cy	Cz
Cuadrada	Moderada	Alta	Baja
Inclinada	Baja	Alta	Baja
Escalón	Alta	Moderada	Alta

Fuente: IZQUIERDO Aparicio, Teoría de los vehículos automóviles, 2001

E toma en cuenta los parámetros de los diferentes perfiles considerados en este apartado, se concluye que el más eficiente para el diseño de los pontones es el perfil tipo inclinado ya que se tiene un coeficiente de resistencia bajo. (Pauta y Sánchez , 2014, p. 59)

2.5. Aerodinámica

La resistencia aerodinámica es una fuerza que actúa sobre el obstáculo en la dirección y sentido del viento relativo. En obstáculos que se mueven a través del viento (un avión, un coche, un tren, un ciclista, una bola de golf, un balón) dicha fuerza se opone al avance. En la mayoría de los casos interesa reducirla. (Da y La 1857)

La aerodinámica es una ciencia parte de la mecánica de fluidos, la cual se encarga del estudio del movimiento del aire y de otros fluidos gaseosos, y el resultado de que un objeto se mueva y los cuales con un desplazamiento haga que el aire entre en circulación, produciendo una resistencia.

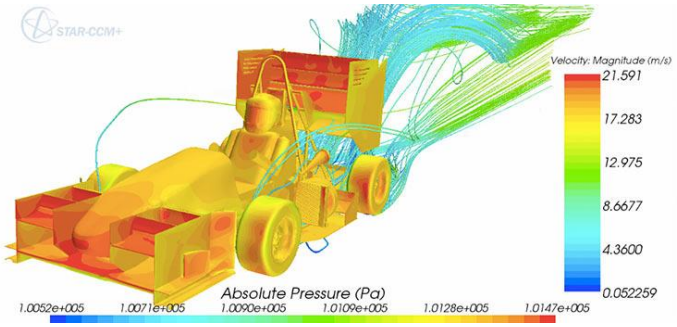


Figura 2-6: Aerodinámica del vehículo

Fuente: http://escuelanacionalautomotriz.com/curso-de-aerodinamica-de-competicion

Muchas veces se tiene el concepto erróneo acerca de los vehículos de competencia, y se piensa que el mejor vehículo es el que tiene la velocidad punta elevada, sin darse cuenta que los circuitos en los que se desarrollan las competencias solo tiene tal vez una o dos rectas, y es solo ahí en donde se puede obtener la máxima velocidad producida por los motores, que lo que se lo desea conseguir es obtener la mayor velocidad en curvas, y es de eso de lo que se trata precisamente la aerodinámica.

Para entender de mejor manera las partes que influyen en la aerodinámica de un vehículo de competencia, tomaremos como referencia lo dicho por Aldo López y Hugo Maya en su tesis denominada Diseño del Paquete Aerodinámico de un Vehículo de Carreras Formula Student:

El paquete aerodinámico de un automóvil tipo fórmula está conformado por: el ala trasera que tiene como objetivo el aumentar la sustentación negativa; el ala delantera que tiene como objetivo producir sustentación negativa a la vez que direccionar la mayoría del flujo hacia el ala trasera evitando las llantas; el difusor que tiene como objetivo aprovechar el flujo por debajo del automóvil para producir sustentación negativa y a su vez contrarrestar el efecto del suelo que produce levantamiento, en paralelo de reducir el arrastre global del auto; en la geometría del monocasco se busca tener un arrastre parasito bajo y un centro aerodinámico retrasado por cuestiones de seguridad, en segundo plano también se puede aumentar la sustentación negativa. Es importante remarcar entonces que a mayor sustentación negativa existe una mayor tracción que por consecuencia da pie a una mayor maniobrabilidad.(Opez, An, & Zavala, n.d., p.2).

Figura 2-7: Partes aerodinámicas

Fuente: (Opez, An y Zavala [sin fecha])

El objetivo principal de estudio de la aerodinámica en los vehículos de Fórmula SAE es encontrar la mayor carga con la menor resistencia al avance posible, teniendo en cuenta que todo esto va de la mano de la geometría de los diferentes elementos que son utilizados en el vehículo, siendo posible gracias a los diferentes *softwares* que permite un estudio más a fondo y hoy por hoy más realistas.

Esencialmente la aerodinámica se enfoca en el estudio de las fuerzas que actúan en un determinado vehículo cuando este se desplaza, y dichas fuerzas tienen mucho que ver con las características tanto del aire como la geometría de las partes que componen el vehículo, todo esto trabajando en conjunto para obtener un mejor consumo de combustible, estabilidad y rendimiento adecuado; cabe notar que mientras más grande sea el objeto, más grande es la superficie que está en contacto con el aire y eso implica que la fuerza que se necesita para moverse es mayor; y es ahí en donde se da mucha importancia al coeficiente aerodinámico, puesto que este depende principalmente del diseño y forma de construcción.
Los factores que modifican el coeficiente aerodinámico son:

La forma exterior de la estructura de todos los lados: delantero, trasero, superior e inferior.

- Alerones, deflectores, etc., ya que forman parte del exterior del vehículo.
- Pendiente del parabrisas. («Expocaps» 2018)

Las fuerzas que intervienen son la fuerza normal que ejerce para nuestro caso el vehículo, la fuerza de rozamiento que es la producida por el aire y la fuerza de presión. (José Altamirano 2013)

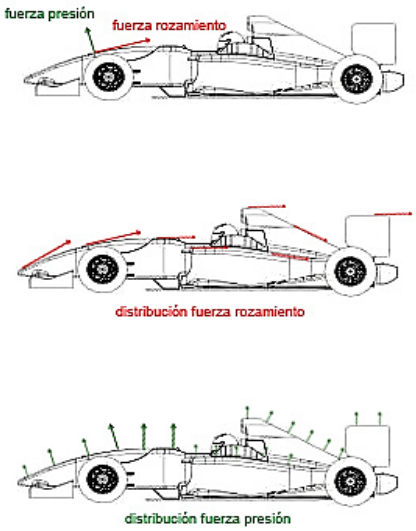


Figura 2-8: Fuerzas que intervienen en la aerodinámica de un vehículo

Fuente: («QUE FORMULA1! » aerodinámica» 2013)

2.5.1. Teoría de la aerodinámica

Una ley muy importante que se maneja en la dinámica de fluidos es la ley de Bernoulli, dicha ley relaciona la velocidad y la presión, a mayor velocidad de flujo de aire tiende a disminuir la presión y viceversa.

2.5.2. Aviación y vehículos de alta velocidad

El avión vuela porque tiene alas, lo que convierte a estas partes o superficies, en las unidades aerodinámicas de la aeronave, es decir, son quienes definen su desempeño aerodinámico. Y ¿cómo generan dicha sustentación?, pues el ala tiene una forma peculiar que permite aprovechar la dinámica de fluidos para generar dicha sustentación. Esta forma puede verse al cortar el ala de manera transversal (paralela al fuselaje) a su longitud máxima denominada envergadura, de este corte se obtiene la forma transversal que es el perfil aerodinámico, es esta forma la que hace posible la generación de la sustentación. (Touchard 2006)

El ala de un avión cumple la función de elevarlo, en cambio un alerón funciona exactamente al revés, no eleva al auto, sino que lo "aplasta". Por eso está colocado con un ángulo de incidencia tal que puede crear una anti sustentación, es decir un empuje hacia abajo, sobre las ruedas motrices. (Alar 2013)

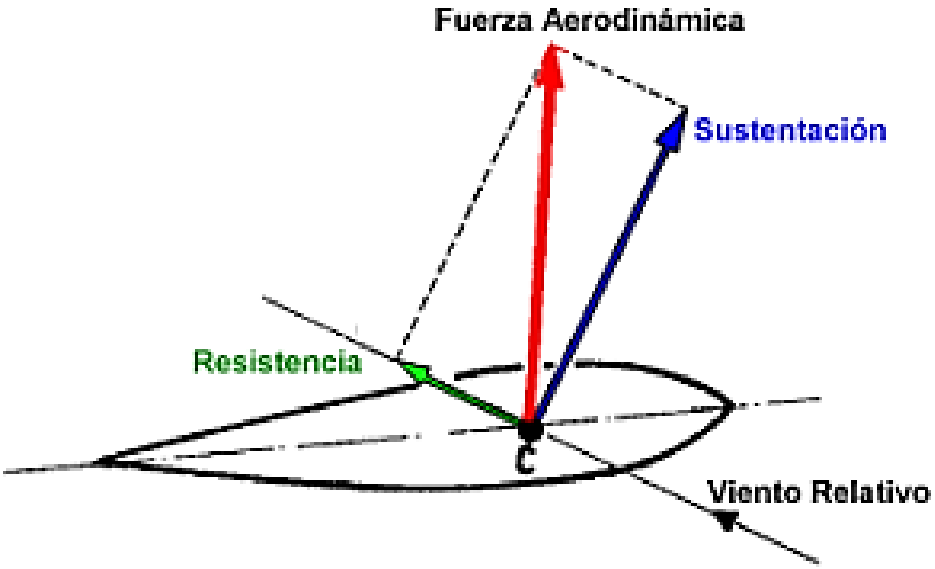


Figura 2-9: Descomposición de una fuerza aerodinámica

Fuente: http://www.edmkpollensa.com/es/por-que-vuela-una-cometa/

2.6. Condiciones de diseño.

Con la constante modernización el diseño aerodinámico juega un papel muy importante a la hora de comprar un vehículo, pero no solo depende de la apariencia física, sino más bien de las cualidades positivas que genera un correcto diseño aerodinámico, características técnicas y de seguridad.

En el momento que un vehículo empieza a moverse y circular en el medio, aparecen dos tipos de flujo, los cuales condicionan los efectos aerodinámicos, un flujo externo debido al paso y a la circulación del aire por la toda la superficie y el flujo interno que atraviesa partes recónditas como motor o el habitáculo. Dichos flujos y su importancia debido a todo lo que genera, es así que el flujo externo genera tres tipos de fuerzas, para lo cual referenciamos lo dicho por Isaac Prada en uno de sus artículos:

El flujo externo origina tres tipos de fuerzas sobre el automóvil: fuerza de resistencia al avance, en sentido longitudinal, dificulta el movimiento del vehículo en el seno del fluido; fuerza vertical, que puede actuar como fuerza de sustentación en coches convencionales, en cuyo caso es una fuerza vertical y hacia arriba, o bien puede ser o hacia abajo, en coches deportivos, apretando al vehículo contra el suelo; y fuerza lateral, debida por ejemplo a viento lateral. El flujo externo tiene un importante impacto asimismo en la estabilidad del vehículo, principalmente a alta velocidad.

El diseño aerodinámico debe perseguir también conseguir un flujo externo adecuado para evitar la excesiva acumulación de la suciedad existente en el aire sobre las superficies del vehículo, lo que afecta considerablemente a la visibilidad. Por último, fenómenos como el desprendimiento de la capa límite pueden producirse a frecuencias audibles y ser por tanto una fuente de ruido, que se debe tratar de evitar con un diseño apropiado de las superficies del vehículo.

Por otro lado, el flujo interno también contribuye a los esfuerzos aerodinámicos que aparecen sobre el vehículo. Un vehículo necesita tener un flujo interno para refrigerar el motor y para renovar el aire del interior del habitáculo. (Industrial & Compuestos-eads, 2008,p. 86)

2.6.1. Diseño en forma de gota de agua.

Para obtener velocidades optima o subsónicas la llamada "forma de gota de agua", es la forma aerodinámica ideal, esto se debe gracias al coeficiente de arrastre pequeño que denota ante un fluido, como se representa en el siguiente gráfico:

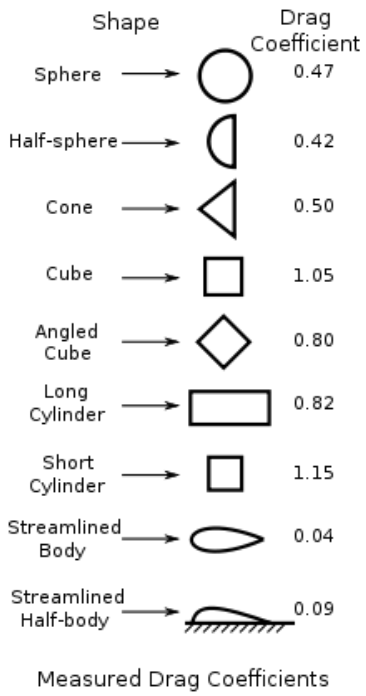


Grafico 2-1: Arrastre coeficiente en fluidos con número de Reynolds aproximadamente $\mathbf{10^4}$

Fuente: (REdbull 2016)

Todo vehículo en movimiento generará un flujo laminar el cual recorrerá por su superficie, lo que se quiere es que no se genere turbulencias que puedan generar inconveniente alguno para la aerodinámica y por ende al rendimiento del auto.

2.7. Líneas de flujo.

Se denomina Línea de Flujo a la trayectoria seguida por un elemento de un fluido móvil. En general, a lo largo de la línea de flujo, la velocidad del elemento varía tanto en magnitud como en dirección. Si todo elemento que pasa por un punto dado sigue la misma trayectoria que los elementos precedentes, se dice que el flujo es estacionario. (ADRIAN 2008)

Figura 2-10: Flujo laminar en auto AUDI.

Fuente: http://www.abc.es/motor-reportajes/20150820/abci-audi-tunel-viento-201508201341.html

2.7.1. Flujo laminar.

Se denomina flujo laminar a aquel en donde el movimiento de un fluido se genera en líneas paralelas sin mezclarse, en un forma suave, ordenada y estratificada y circulan a temperatura y velocidad constante.

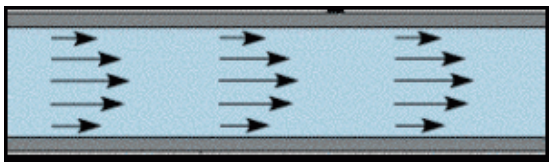


Figura 2-11: Flujo laminar

Fuente: (NEETESCUELA 2013)

2.7.2. Flujo turbulento.

Se denomina flujo turbulento cuando sus partículas se mueven en trayectorias muy irregulares, caóticas o impredecibles, lo que ocasiona que choquen entre ellas, lo que hace que se forman remolinos por cambios bruscos en velocidades.

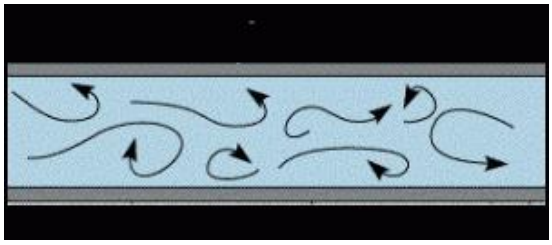


Figura 2-12: Flujo laminar y turbulento

Fuente: (NEETESCUELA 2013)

La forma de identificar si un flujo es turbulento o laminar es mediante el número de Reynolds. Si el mismo es un número bajo, menor a 2200 el flujo es considerado laminar, pero si es mayor a 2200 es turbulento. Entre estos valores se lo considera un flujo de transición. (NEETESCUELA 2013)

2.7.3. Numero de Reynolds.

El número de Reynolds es quizá uno de los números adimensionales más utilizados. La importancia radica en que habla del régimen con que fluye un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo. Si bien la operación unitaria estudiada no resulta particularmente atractiva, el estudio del número de Reynolds y con ello la forma en que fluye un fluido es sumamente importantes tanto a nivel experimental, como a nivel industrial. (Arlette Mayela Canut Noval 2008)
El número de Reynolds se utiliza para saber qué tipo de flujo es el que está actuando, para nuestro caso la fórmula que se aplica en el campo automotriz denota de la siguiente manera:

$$R_e = 67.778 * v * l \qquad (2)$$

Donde:

$v =$ Velocidad del auto [m/s]
$l =$ Longitud del ancho del auto [m]

Tener en cuenta que el resultado del número del Reynolds es adimensional, sin embargo, el rango en el que se encuentre dicho valor, será tomado en cuenta para determinar el tipo de flujo que está actuando:

$$0 \leq R_e \leq 2000 \quad \text{Flujo Laminar}$$
$$2000 \leq R_e \leq 4000 \quad \text{Flujo Transitorio}$$
$$R_e \leq 4000 \quad \text{Flujo Turbulento}$$

2.8. Fuerza aerodinámica

Las fuerzas aerodinámicas que actúan son de gran importancia, debido al impacto directo que tienen con la velocidad, aceleración, el frenado, estabilidad, economía y consumo de combustible.

El hecho de que un flujo de aire recorra el perfil aerodinámico de un vehículo, genera diferentes tipos de fuerzas, presiones y distintas velocidades debido a la variación geométrica de un determinado modelo; la sumatoria de todas ellas da como resultado una fuerza neta, la misma que para el estudio de vehículos de competencia se puede descomponer en dos tipos: fuerza de resistencia al avance o de arrastre (drag force) y la fuerza de sustentación o de adherencia (lift force).

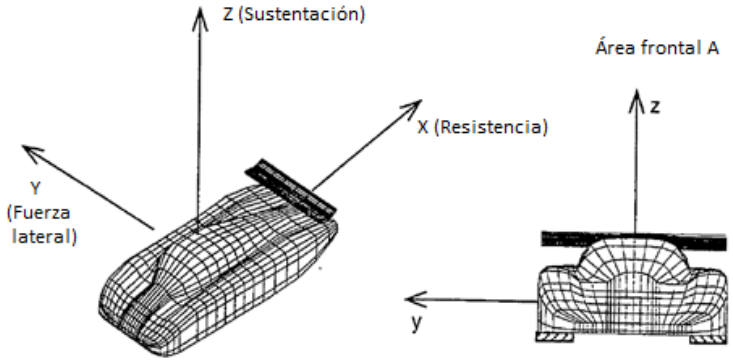


Figura 2-13: Descomposición de fuerza de arrastre y fuerza de sustentación

Fuente: («Joseph_Katz_Race_Car_Aerodynamics_Designing_for_Speed_Engineering_and_Performance.pdf» [sin fecha])

2.8.1. Fuerza de resistencia al avance "F_D" (arrastre).

Es provocada por la fricción del perfil del móvil con el aire, es aquella que tiene dirección longitudinal al eje "x", debido a la viscosidad del aire las partículas de este se adhieren al vehículo y las partículas cercanas son detenidas por estas provocando así el efecto capa limite.

2.8.1.1. *Capa limite*

La capa límite o capa fronteriza de un fluido es la zona donde el movimiento de este es perturbado por la presencia de un sólido con el que está en contacto. La capa límite se entiende como aquella en la que la velocidad del fluido respecto al sólido en movimiento varía desde cero hasta el 99% de la velocidad de la corriente no perturbada. (Universidad de Oviedo. 2008)

Para tener un valor a la fuerza de resistencia al avance (F_D) se ha determinado un valor de coeficiente al avance (C_D), el cual representa la oposición que genera un cuerpo a medida que se va desplazando.

2.8.2. Fuerza de sustentación"F_z" (adherencia).

La diferencia de presiones sobre la superficie (extradós) y la interior o inferior (intradós), genera la fuerza de sustentación. (Antonio y Lozano 2006)

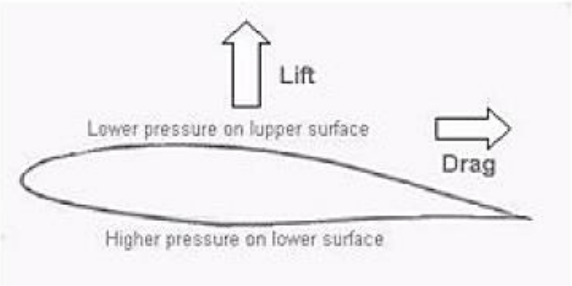


Figura 2-14: Diferencia de presiones sobre la superficie (extradós) y la interior (intradós).

Fuente: (Antonio y Lozano 2006)

Para la dinámica del vehículo esta fuerza de sustentación se genera según el aire pasa sobre y por debajo de este.

Algunas partes, como los pontones de refrigeración, de los vehículos de Fórmula 1 e incluso ellos mismos, vistos en perfil, poseen figuras en sí mismas con alta Down Force y baja resistencia. Las formas que mal denominamos aerodinámicos, se aplican, como veremos, de forma muy extendida en coches de competición. (Antonio y Lozano 2006)

La cuantificación de la fuerza de sustentación $\boldsymbol{F_z}$ se la realiza en [N], para lo cual representamos a continuación dicha fórmula:

$$F_y = C_Z \, x \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) A \qquad (3)$$

Donde:

F_y : Fuerza de sustentación. [N]

C_Z: Coeficiente de sutentacion adimensional

ρ: Densidad del fluido (aire). [$\frac{Kg}{m^3}$]

V: Velocidad del vehículo. [$\frac{m}{s^2}$]

A: Área frontal del vehículo. [m^2]

2.9. Dispositivos aerodinámicos en un automóvil de competición.

Después de tratar los fundamentos que controlan y rigen el comportamiento aerodinámico en los vehículos se habla de los elementos o dispositivos que tienen con fin el mejorar el desenvolvimiento aerodinámico del vehículo, ayudando a vencer la resistencia, mejorando la sustentación y sobre todo eliminando turbulencias, teniendo con todo esto ganancias aerodinámicas y disminuyendo el consumo de combustible.

2.9.1. Pontones.

Se utilizan para el enfriamiento del motor, los radiadores de agua y aceite. Para la refrigeración del motor se necesita un alto flujo de corrientes de aire y esto se logra mediante el efecto Venturi donde se reduce la sección para conseguir menor presión y aumentar la velocidad del aire. El flujo de aire se enfrenta al choque directo sobre el radiador por lo que se produce el aumento de la resistencia aerodinámica. (Una et al. 2015).

El pontón debe tener un diseño, el mismo que sea capaz de redirigir el flujo de aire incluso hacia el alerón trasero, logrando así ejercer una menor resistencia.

Figura 2-15: Pontón de tipo Fórmula SAE

Fuente: (Pauta Solano y Sanchez Ramirez 2014)

2.9.1.1. Los pontones a lo largo de la historia.

El crisol de todos estos cambios y el monoplaza que definió el moderno coche de carreras fue otra invención de Chapman, el exitoso Lotus 72, (1970) tan avanzado que fue competitivo durante

casi cinco años y logro el título de constructores en tres, 1970,1972 y 1973. Sus principales innovaciones fueron situar los radiadores en un par de pontones laterales, sistema que se sigue utilizando hoy en día, así como sacar el peso muerto de los frenos de la carrocería y colocarlos en el hueco de las ruedas. La mejora aerodinámica fue tan drástica, que el coche era 14 Km/h más rápido en rectas que su inmediato predecesor. (QUORA 2017)

2.9.2. Fondo Plano.

Es la parte más cercana al suelo del monoplaza, su principal objetivo es circular la menor cantidad de aire por debajo de él, con el fin de aumentar el *dawnforce*. Para tratar de conseguir esto existen diferentes métodos:

1. Vórtices del alerón delantero en un determinado sentido, para extraer aire de debajo del coche.
2. Apéndices colocados debajo de la abertura de los pontones, para desviar y alejar el flujo de aire de la parte baja del vehículo.
3. Labios en los extremos de la superficie del fondo plano, justo debajo de los pontones (a cada lado de la cubierta motor) con el fin de extraer aire de debajo del monoplaza.

Aunque el fondo es el componente principal que controla el flujo de aire por bajo el coche, también realiza otras funciones. Hecho de fibra de carbono, es un componente rígido que va atornillado a la parte inferior del monocasco, el motor, y la caja de cambios, y que puede ser desmontado relativamente rápido una vez que el coche está levantado en los boxes.(Rodríguez 2014)

Figura 2-16: Fondo Plano de Fórmula SAE

Fuente: http://www.f1-gears.com/showthread.php?t=178

2.9.3. Difusor.

El difusor es otro de los elementos importantes en el monoplaza, dicho componente se sitúa por debajo del eje de las ruedas y lo que hace es mejorar la transición entre el flujo de alta velocidad

que recorre la parte baja del vehículo, con el flujo de baja velocidad que circula por la parte superior del monoplaza.

A simple vista, el difusor parece una pieza sencilla, pero tras el diseño de esta pieza, se esconcen buena parte opciones para que un monoplaza sea competitivo. Un difusor trata de aprovechar las ventajas del Efecto Venturi. El difusor acelera el flujo de aire que fluye por debajo del monoplaza, lo que consigue crear una zona de baja presión que incrementa la adherencia del coche. En resumen, un difusor trata de producir el deseado efecto suelo. (Igor Zamorano 2009)

Figura 2-17: Difusor de un vehículo de Fórmula.

Fuente: (Igor Zamorano 2009)

2.10. Materiales Compuestos.

Son materiales de ingeniería, combinaciones de materiales diversos como resinas epoxi, poliéster, acrílicas, poliuretánicas con materiales de refuerzo tales como fibras de carbono, vidrio, aramídicas, etc.

Sus propiedades son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes, por lo que dan por resultante materiales de características excepcionales muy utilizados en la industria espacial, aeronáutica, química, náutica, entre otras. (QuimiNet 2006)

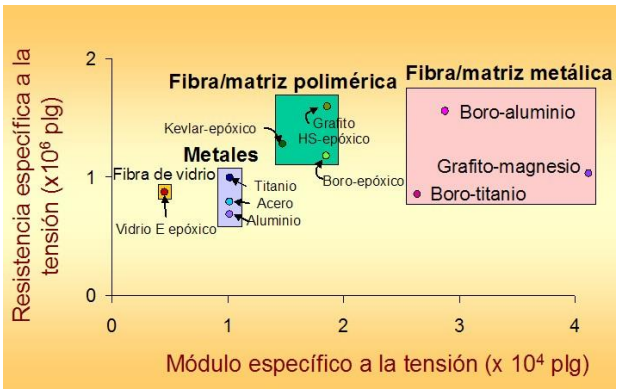


Grafico 2-2: Comparación del módulo y la resistencia especifica de varios compuestos reforzados con fibras con los de los metales

Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/Imagenes/Fig15_27.jpg

2.10.1. Importancia del material Compuesto

La mayoría de las tecnologías modernas requiere de materiales con una combinación inusual de propiedades, imposible de conseguir con los metales, las cerámicas y los polímetros convencionales. Esta necesidad es muy evidente en aplicaciones espaciales, subacuáticas y en los transportes. En la aeronáutica se solicitan materiales de baja densidad y que sean resistentes y rígidos, y también resistentes al impacto, corrosión y a la abrasión. Esta combinación de propiedades es algo muy extraordinario, porque frecuentemente los materiales más densos son los más resistentes, además que un incremento de la resistencia y de la rigidez, se traduce generalmente en una disminución de la resistencia al impacto. Estas características físico-químicas deseadas se han logrado con el surgimiento y desarrollo de los materiales compuestos o composites. (Campbell 2006)

2.10.2. Ventajas de los materiales compuestos.

Los materiales compuestos presentan numerosas ventajas, una de las principales mejoras es la relación peso-resistencia, sabiendo que resistencia es la capacidad de resistir esfuerzos y fuerzas de un material sin romperse.

También la mejoría en la relación peso-rigidez, sabiendo que rigidez es la capacidad de soportar esfuerzos sin sufrir grades deformaciones; además de todo esto el hecho de tener una reducción misma en el peso neto de un prototipo ya los convierte en un ente fundamental de la construcción actual.

La reducción de peso, supone una disminución de consumo en el caso de aviones o en deportes de élite, como la fórmula 1, y una disminución de material estructural, como, por ejemplo, en el caso de palas de generadores eólicos, ya que, dadas sus grandes dimensiones, se facilita la sujeción de las palas en la pérgola del aerogenerador. (Material et al. 2011)

Al tener en cuenta que, si unos materiales solo tienen unas grandes propiedades, al ser utilizados para formar un material compuesto, las propiedades de dicho material aumentarán y serán mejores, propiedades tales como mejor resistencia a los cambios de temperatura y humedad, en el caso de la fibra, pero en caso de la resina dichas propiedades serian afectadas.

Figura 2-18: Materiales compuestos de resina reforzados con fibras

Fuente: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html

2.10.3. Desventajas de los materiales compuestos.

La principal desventaja que denota el uso de materiales compuestos es el alto costo que representa trabajar con ellos, debido al proceso de manufactura que tienen, además los equipos empleados para su elaboración no son baratos, incluyendo su mantenimiento; además el cuidado especial con el que se debe trabajar con estos materiales pues la mayoría incluyen composiciones químicas que afectan la salud de quienes la manipulan, así como el polvo que expide las fibras.

2.10.4. Clasificación de los materiales compuestos.

Se pueden clasificar según su tipo de refuerzo utilizado al momento de fabricarse o según el tipo de matriz

- Según el tipo de refuerzo:

Con refuerzos discontinuos (fibras cortas);
Con refuerzos continuos (fibras largas) (INGEMECANICA 2018)

- Según el tipo de matriz:

De matriz Metálica o MMC (METAL MATRIX COMPOSITES);
De matriz Cerámica o CMC (CERAMIC MATRIX COMPOSITES);
De matriz de Carbón; (INGEMECANICA 2018)

2.10.5. La matriz en los materiales compuestos.

La matriz es el componente que actúa como ligante y se presenta en fase continua, donde el refuerzo deberá empaparse, la matriz es la responsable de las propiedades físicas y químicas siendo ella la encargada de transmitir los esfuerzos al agente reforzante.

2.10.5.1. *Agente reforzante*

Es el elemento resistente que se presenta en fase discontinua o continua, todo esto mejorando la absorción de tensiones e incrementando la resistencia y rigidez de todo el conjunto.

2.10.6. Matriz metálica.

La matriz metálica ofrece una capacidad más resistente al material compuesto, también brinda una mejor rigidez y tenacidad a la fractura. Esta matriz presenta anisotropía poco pronunciada y un comportamiento óptimo a grandes temperaturas, sin embargo, estas matrices se ven limitadas debido a su tenacidad muy alta, con esto se dificulta su proceso y mecanizado. (INGEMECANICA 2018)

Figura 2-19: Cinta matriz-metálica

Fuente: https://muntal.net/producto/cinta-matriz-metalica/

2.10.7. Matriz cerámica.

El uso de carburo de silicio, nitruro de silicio, óxido de silicio y oxido de aluminio son los principales componentes para la mayor parte de aplicaciones de los compuestos con matriz cerámica , todos esto debido a que exhiben un punto de fusión por encima de los 1700 °C.(JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ RIVERA y JORGE GARCÍA ROCHA 2010)

Figura 2-20: Matriz cerámica aplicada a cohete.

Fuente: http://www.cyd.conacyt.gob.mx/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos3.html

2.10.8. Matriz orgánica o polimérica.

Se la denomina también matriz de plástico, teniendo como característica su baja densidad, tenacidad alta, una resistencia a la corrosión muy alta, costo barato, sencillez de conformado. Tener en cuenta los factores externos que influyen en el momento de trabajar con este tipo de matrices, factores como temperatura, humedad o radiación solar.

Las matrices poliméricas pueden ser de varios tipos:

- Termoplásticas
- Termoestables
- Elastómeros

2.10.9. Resinas.

Las denominadas resinas se encuentran en el grupo de termoestables o duroplásticos, y se la puede denominar según el diccionario de la real academia de la lengua como:

> *Sustancia orgánica de consistencia pastosa, pegajosa, transparente o translúcida, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización.* (Real Academia Española. y Española 2014)

2.10.10. Clasificación de las resinas.

Se puede clasificar las resinas de la siguiente forma:

- Epoxis: las más utilizada para productos de altas prestaciones, teniendo como temperatura de uso con un máximo de 170 °C.

- Bismaileimidas: se puede utilizar para temperaturas de 250 °C.
- Poliamidas: se utiliza en unos entornos de 300 ° C.
- Fenólicas: lo particular de esta resina es la utilización en matrices que deben ser resistentes al fuego como paneles interiores de aviones.
- Poliésteres: es la más utiliza en la fabricación de autopartes de vehículos.

2.10.10.1. *Resina poliéster*.

Esta resina no ofrece grandes propiedades mecánica, pero si es de gran utilidad para reparar embarcaciones, motores, tuberías, etc. La resina poliéster es muy recomendable para usarla como refuerzo para telas de fibra de vidrio o carbono, de manera que al saturarse brinda una gran dureza y resistencia. Al usar este tipo de resina se debe usar un tipo de catalizador, para ayudar al endurecimiento de la resina, disminuyendo el tempo de secado.

Cuando se emplee para trabajar con fibra de vidrio o de carbono, el modo de aplicar en primer lugar será la resina mezclada con catalizador y luego tela saturada con resina, a esto se denomina capa, de tal manera que una capa será: 1 capa = Resina + Tela + Resina.(INGEMECANICA 2018)

Figura 2-21: Resina Poliéster + catalizador.

Fuente: http://www.orgonitesartesanales.com/materiales-para-orgonites/

2.10.10.2. *Curado de la resina poliéster.*

Este proceso consiste en pasar de un estado líquido a un estado sólido, todo esto gracias a las reacciones que realizan los compuestos en la formación de la matriz, lo cual al mezclarse produce una reacción de endurecimiento.

Los periodos del curado de la resina poliéster son:

- Gelificación: La resina cambia de un estado líquido a un gel blando.
- Endurecimiento: La resina cambia de un gel blando a un material endurecido.
- Curado final: La resina adquiere sus propiedades mecánicas. (Con, Para y Vehículo 2016)

2.10.11.Fibras.

Es uno de los elementos más utilizado como refuerzo en los materiales compuestos, y sus principales tipos de acuerdo al material que lo compone son:

2.10.11.1. Fibra de vidrio.

La fibra de vidrio ofrece una gran resistencia a la tracción siendo muy duras, pero a la vez flexibles.

Las fibras de vidrio se fabrican a partir de sílice (del 50% al 70% de su composición),al que se le agrega otros componentes tomando en cuenta las propiedades deseadas, teniendo los siguientes tipos:

- VIDRIO-E: para aplicaciones generales.
- VIDRIO-S: usado cuando se requiera una mayor resistencia y rigidez.
- VIDRIO-C: ofrece estabilidad química.
- VIDRIO-M: para muy alta rigidez.
- VIDRIO-D: para aplicaciones donde se exija muy baja constante dieléctrica (INGEMECANICA 2018)

2.10.11.2. Fibra de carbono

La fibra de carbono está compuesta por muchas fibras que se presentan en forma de hebras o hilos. Existen muchas clases de fibra de carbono con propiedades diversas, adaptadas a distintas aplicaciones. En la Figura 18-2 se muestra una imagen tomada por microscopía electrónica de barrido (SEM) de una fibra de carbono. Éstas tienen una forma cilíndrica alargada como puede comprobarse. (Material et al., 2011,p.28)

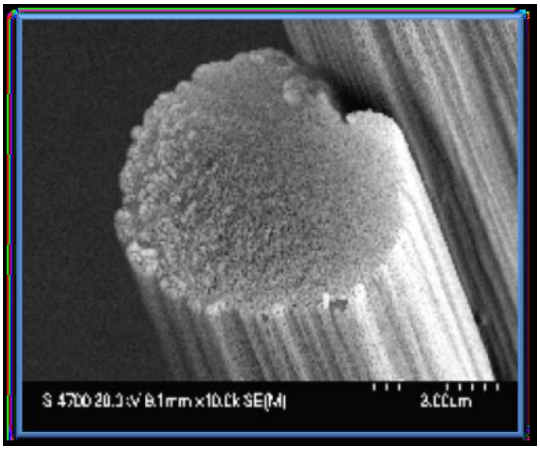


Figura 2-22: Imágenes por SEM fibra de carbono

Fuente: (Material et al. 2011)

2.10.11.3. *Fibras cerámicas.*

Estas fibras ofrecen una gran resistencia al choque térmico y pueden ser de cuarzo o sílice, pero con un muy bajo alargamiento a la rotura.

2.10.11.4. *Fibras orgánicas*

Este tipo de fibras son obtenidas a base de polímeros, podemos nombras a la más utilizada que es el KEVLAR, actualmente es utilizado como refuerzo para prendas de vestir destinadas a soportar bajas temperaturas, como prendas textiles de montaña, o también para la fabricación de chalecos y cascos antibalas.

2.11. Tipos de análisis.

Para obtener una validación de datos y resultados se debe llevar a cabo estudios que den fe de la veracidad de los mismos, para lo cual se utiliza herramientas CFD (Computacional Fluid Dynamics).

2.11.1. Análisis CFD.

La Dinámica de Fluidos Computacional o CFD (del inglés *Computational Fluid Dynamics*) es el área de conocimiento que trata sobre la simulación numérica de flujos fluidos, transferencia de calor y fenómenos relacionados tales como reacciones químicas, combustión, aeroacústica etc. El CFD tuvo origen a partir de la combinación de dos disciplinas: mecánica de los fluidos y cálculo numérico. Las ecuaciones que rigen el flujo fluido tienen origen en la mecánica de los fluidos y pueden ser resueltas por medio de diferentes métodos numéricos. (Martin Kessler 2016)

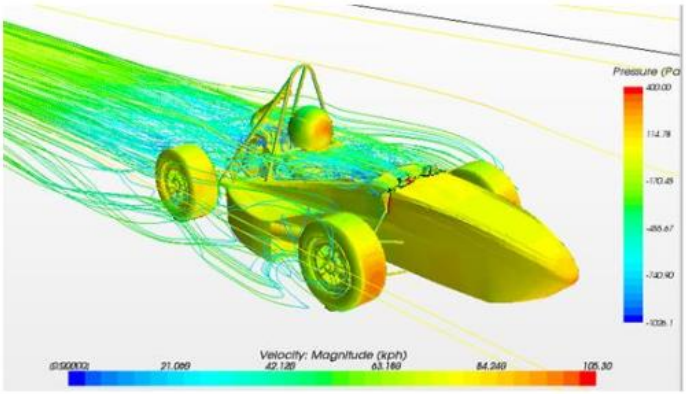


Figura 2-23: CFD de un vehículo tipo Fórmula

Fuente: http://docplayer.es/14531726-Facultad-de-ingenieria.html

2.11.1.1. Visión general de análisis de CFD

CFD simula el paso de fluidos (líquidos o gases) a través de un objeto o a su alrededor. El análisis puede ser muy complejo; por ejemplo, puede contener en un cálculo transferencia de calor, mezclas, y flujos inestables y compresibles. La capacidad de predecir el impacto de dichos flujos en el rendimiento de producto puede resultar lenta y costosa si no se utiliza ningún tipo de herramienta de simulación.

CAPITULO III

3. Diseño y construcción de pontones

Diseñar es un proceso para encontrar soluciones a problemas y resolverlos de manera eficiente mediante la elaboración de elementos que permita satisfacer los requerimientos establecidos, utilizando diferentes herramientas de diseño y aplicando conocimientos de acuerdo a las necesidades de lo que se quiere realizar.

En este capítulo se analiza el comportamiento aerodinámico de los tres diseños de pontones del vehículo de Fórmula SAE, mediante el uso de software Ansys, es muy importante tomar en cuenta la funcionalidad para tomar decisiones en la construcción, como la resistencia que debe tener, peso y su coeficiente aerodinámico. Tener en cuenta los siguientes parámetros necesarios para la validación del prototipo:

- Normas: es obligatorio aplicar las normativas vigentes de diseño de la Fórmula SAE y parámetros de restricciones al momento de diseñar los pontones.
- Construcción: establecer un proceso de manufactura adecuado para la elaboración de lo requerido, obteniendo una resistencia mecánica adecuada y logrando disminuir el peso de los pontones.
- Confiabilidad: un comportamiento optimo y eficaz ayudan a cumplir los requerimientos de funcionalidad para que el vehículo no tenga accidentes.

3.1. Diseño y análisis aerodinámico de los pontones

3.1.1. Consideraciones de diseño

Para realizar el diseño de los pontones se toma parámetros aerodinámicos como la forma del pontón, medidas de seguridad y restricciones de diseño impuestas por la Fórmula SAE, ya que es fundamental al momento de realizar el análisis aerodinámico, teniendo en cuenta estos parámetros aerodinámicos se tiene resultados positivos como estabilidad, adherencia al suelo, una refrigeración adecuada del motor y reducción en el consumo de combustible.

3.1.2. Diseños de los pontones

Para el diseño de los pontones se puede utilizar dibujos digitales o manuales para tener un bosquejo inicial y poder tener una idea de la forma de la superficie del pontón, posteriormente

elegir un diseño adecuado, croquizar en software de acuerdo a la medida del chasis, y simular el comportamiento aerodinámico de dicho modelo en software a condiciones dadas y comprobar si cumple las necesidades deseadas. Para el diseño de los pontones se utiliza normativas dispuestas por la SAE 2017-2018 y también características aerodinámicas necesarias para el buen desempeño del vehículo, como la disminución del coeficiente de resistencia aerodinámico, ser capaz de canalizar el aire a la entrada de los radiadores con el objetivo de evacuar el calor, generar empuje vertical y disminuir el arrastre de los pontones.

3.2. Diseño de los pontones

Para el diseño de los pontones se utiliza el software Solidwork, para la creación de su geometría teniendo en cuenta que durante el proceso de diseño habrá variaciones dependiendo del análisis aerodinámico que se realice, se realiza tres propuestas para el diseño de los pontones que servirán para el análisis aerodinámico y mecánico con el propósito de elegir el que ofrezca el mejor resultado.

3.2.1. Consideraciones de diseño de los tres modelos

3.2.1.1. *Diseño 1.*

Para el caso del diseño 1 se ha considerado la funcionalidad del pontón evitando que genere una gran resistencia aerodinámica al avance, por lo cual se diseña con entradas lo más grandes posibles, con en el objetivo de refrigerar el motor y el radiador del monoplaza, además evitando la mayor carga aerodinámica, por lo cual el diseño tiene una forma descendente en el sentido del flujo de aire en la parte superior, con el fin de generar sustentación negativa, en la parte posterior del pontón posee una curvatura hacia el interior del chasis con el objetivo de canalizar el aire en la parte trasera y cumpla con la refrigeración acotada anteriormente.

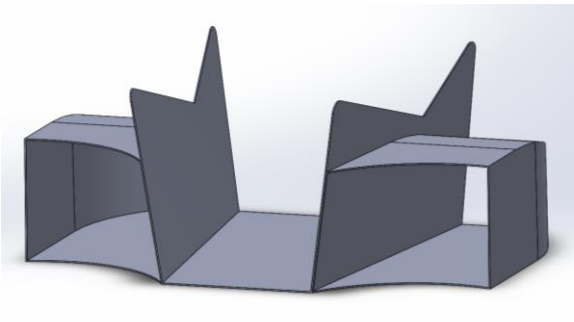


Figura 3-1: Modelo de pontones diseño 1

Fuente: Autores

3.2.1.2. *Diseño 2.*

En el siguiente diseño de pontones se realiza de tamaño pequeño para reducir la resistencia aerodinámica, además en la parte inferior del pontón se diseña en forma de ala invertida para tener sustentación negativa y para mejorar la estabilidad, en la parte posterior existe un estrechamiento con el fin de canalizar el aire y refrigerar el motor, se basa en el teorema de Bernoulli el cual dice que al reducir el área de salida se aumenta la velocidad y se disminuye la presión.

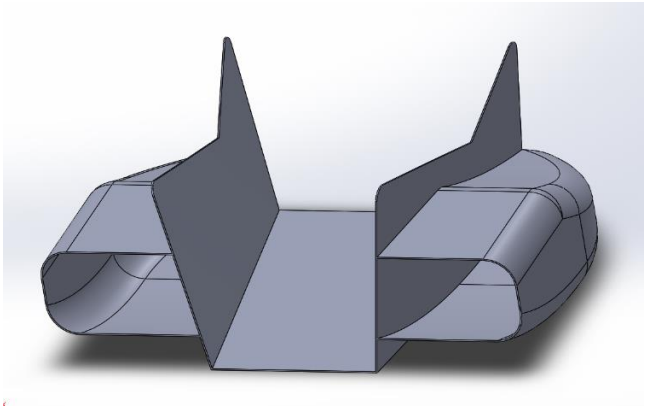


Figura 3-2: Modelo de pontones diseño 2

Fuente: Autores

3.2.1.3. *Diseño 3.*

El diseño 3 se realiza con un ángulo de ataque en la superficie posterior de 8°, ya que el diseño de perfil alar indica que, con dicho ángulo, no se genera turbulencia y mantiene un flujo laminar, no existe gran variante entre el área de salida y de entrada, sin embargo la salida es más pequeña y se genera una curva hacia dentro en dirección del chasis con el objetivo de canalizar el aire para refrigerar el radiador, el motor y los componentes electrónicos.

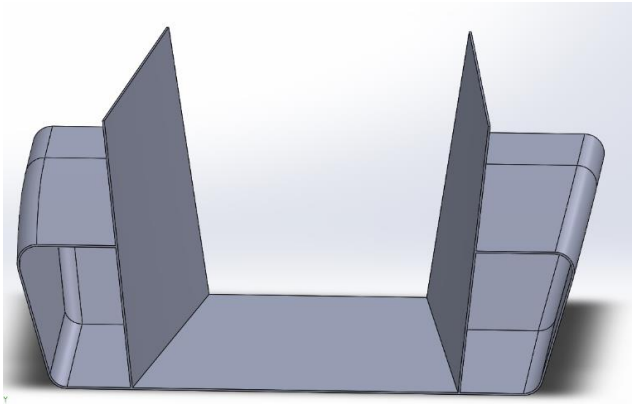


Figura 3-3: Modelo de pontones diseño 3

Fuente: Autores

3.3. Parámetros que se tomaron para el análisis aerodinámico

Los parámetros para el análisis aerodinámico de los pontones, se toman de acuerdo a la temperatura del lugar en donde se realiza la competencia, la densidad del aire de acuerdo a la temperatura máxima de dicha ciudad.

- Temperatura máxima: Según el portal web meteored.com.ec la temperatura máxima en la ciudad es de 32° C. (AccuWeather 2018)

- Densidad del aire ($\frac{Kg}{m^3}$): A 30 °C tenemos una densidad de 1, 164 ($\frac{Kg}{m^3}$)
- Velocidad: la velocidad se toma la expuesta por la Fórmula SAE con un rango máximo de 75 km/h.

3.4. Simulación mediante la utilización de software CAD

Se procede a la simulación con los tres diseños establecidos, el análisis que se hace para los pontones es aerodinámico, de impacto y estructural. Se analiza cada uno de los modelos para al final seleccionar el más eficiente, se ayuda con el software Ansys Fluent.

3.4.1. Preproceso

El preproceso se basa en determinar el problema planteado, define la construcción de la región del dominio computacional en el cual se discretiza un finito número de elementos que es el mallado, previo al análisis del modelo matemático permite definir las propiedades del fluido, como también las condiciones de frontera iniciales.

3.4.2. Dominio

Se representa como un túnel de viento el mismo que tiene la forma de una caja rectangular, con lo cual se consigue encerrar al pontón, que está colocado en la superficie inferior del dominio. Se definen las condiciones de frontera tanto de entrada como de salida.

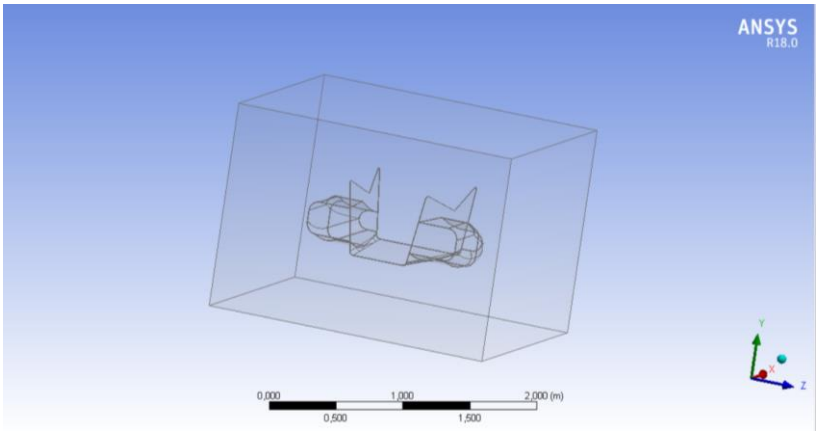


Figura 3-4: Representación de un túnel de viento

Fuente: Autores

En la tabla 1-3 se representa las dimensiones de la caja rectangular para el análisis aerodinámico, utilizando coordenadas para encapsular el diseño.
Nota: las dimensiones mencionadas son para todos los diseños.

Tabla 3-1 : Dimensiones de túnel de viento

X	0,5m
Y	0,5m
Z	0,5m
-X	0,5m
-Y	0,5m
-Z	0,5m

Fuente: Autores

3.4.3. Análisis de pontones

Mediante la utilización de *Ansys Fluid Flow (Fluent)* se realiza el análisis de velocidad y presión de los pontones, obteniendo resultados del comportamiento aerodinámico. Se importa el modelo de Solidwork en formato STEP.

3.4.4. Mallado

El mallado define el tamaño y forma del dominio, consiste en dividir pequeñas secciones mediante tetraedros, prismas y hexaedros. Para el análisis se usa una malla híbrida no estructurada que resuelve ecuaciones de masa y momento. El desarrollo de la malla contiene elementos tetraédricos

en el dominio y prismas sobre la superficie de los pontones, observar que la calidad del mallado es uniforme en un 99,9 % por lo que los resultados se generan de manera más eficiente.

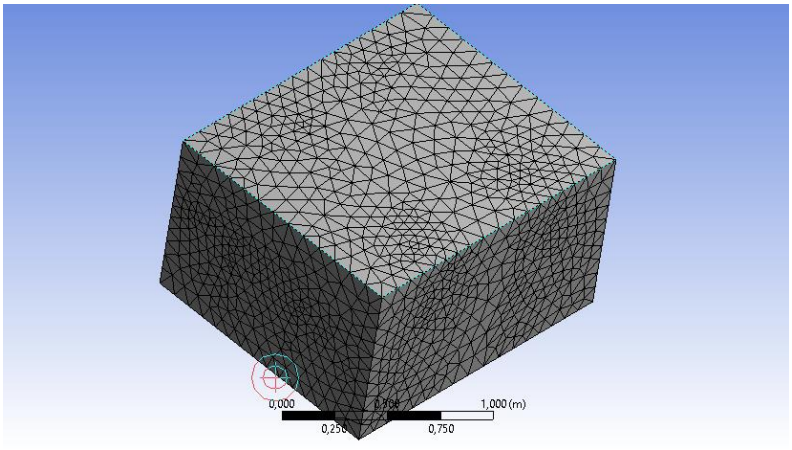


Figura 3-5: Calidad de mallado

Fuente: Autores

3.5. Análisis de resultados en Ansys

Mediante el análisis se valida los diseños de los pontones mediante la herramienta de análisis de flujo de Ansys, en la que se verifica el comportamiento aerodinámico y se obtiene fuerzas generadas al momento de simular, tomando los datos obtenidos de los tres diseños de los pontones se elige el modelo que se comporte de manera eficiente sin que genere flujo turbulento y cumpla con el objetivo de refrigerar el motor, todo esto ayuda a calcular fuerzas de sustentación y de arrastre, las mismas que servirán para el cálculo de coeficientes aerodinámicos.

3.5.1. Análisis y simulación aerodinámica de los pontones diseño 1

3.5.1.1. *Mallado*

El mallado ayuda obtener valores aproximados a la realidad, **se** utiliza un mallado de superficies con el fin de aplicar condiciones de contorno, renderizar dominios de mallado y visualizar resultados.

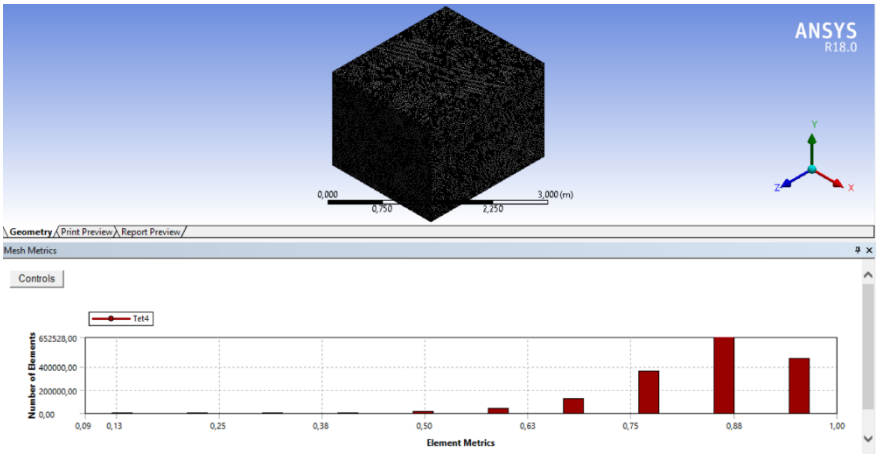


Figura 3-6: Calidad de malla, análisis diseño 1

Fuente: Autores

Una vez culminado el mallado se configurar los parámetros para el análisis aerodinámico de los pontones, en la tabla se detalla los valores para la simulación.

Tabla 3-2: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

Condiciones de mallado		**Datos para la simulación**	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	297185	Temperatura del fluido	30 °C
Elementos	1652467	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Malla máxima Malla promedio	0,99988 0,84517	Numero de iteraciones	50
Malla mínima	8,6739e-002	Velocidad	27,778 m/s

Fuente: Autores

3.5.1.2. *Análisis de velocidades.*

En el siguiente caso se analiza la velocidad con la que se mueve el fluido y su comportamiento, al tomar contacto el aire con la superficie del pontón, dicho aire se adapta a la forma del mismo, por lo cual la relación en ese contacto siempre será nula, como se muestra en la figura 3-7, además aplicando el teorema de Bernoulli se nota claramente que en donde hay mayor velocidad existirá una menor presión.

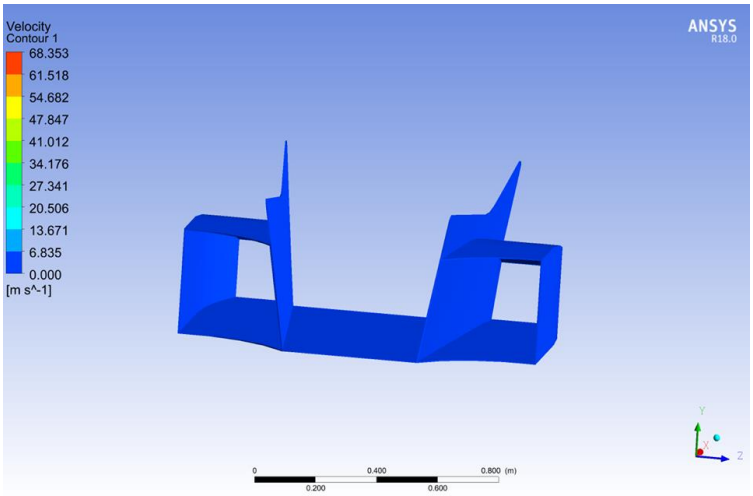


Figura 3-7: Velocidad igual a cero en el diseño.

Fuente: Autores.

Este principio se identifica para la superficie de los pontones en el cual la velocidad se comporta con valores mayores en comparación con la parte inferior del modelo donde alcanza resultados bajos, por lo que produce una fuerza de sustentación positiva la cual causa una inestabilidad del monoplaza y que el vehículo no tenga adherencia al suelo.

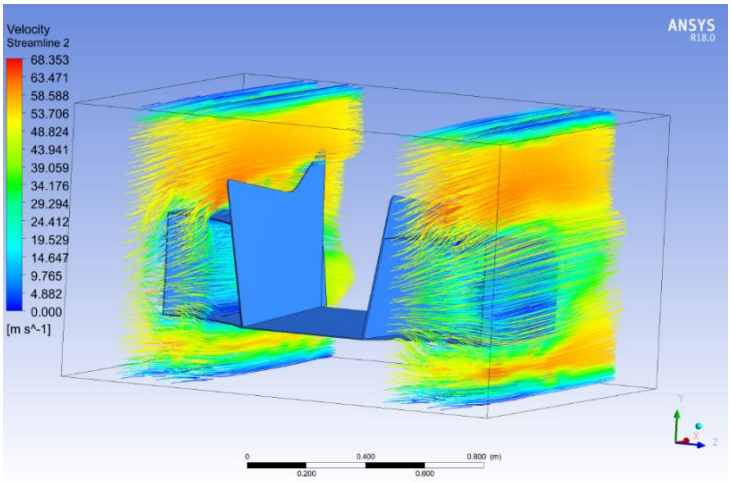


Figura 3-8: Análisis de velocidad en unidades de medida [$^{m}/_{s}$]

Fuente: Autores

3.5.1.3. *Análisis de presión.*

Para el análisis de presión se considera que los puntos en que la velocidad es igual a cero o inferior a la corriente libre, la presión es positiva y en los puntos en que la velocidad es superior a la corriente libre tiene una presión negativa.

Se realiza el análisis de presión para verificar el valor critico que afecte al rendimiento aerodinámico, se observa presiones que varía en el pontón obteniendo una presión elevada en el interior de 2019,570 [Pa] y una presión de salida que disminuye, de 1057,214 Pa. La presión crítica indica que produce una gran resistencia al avance.

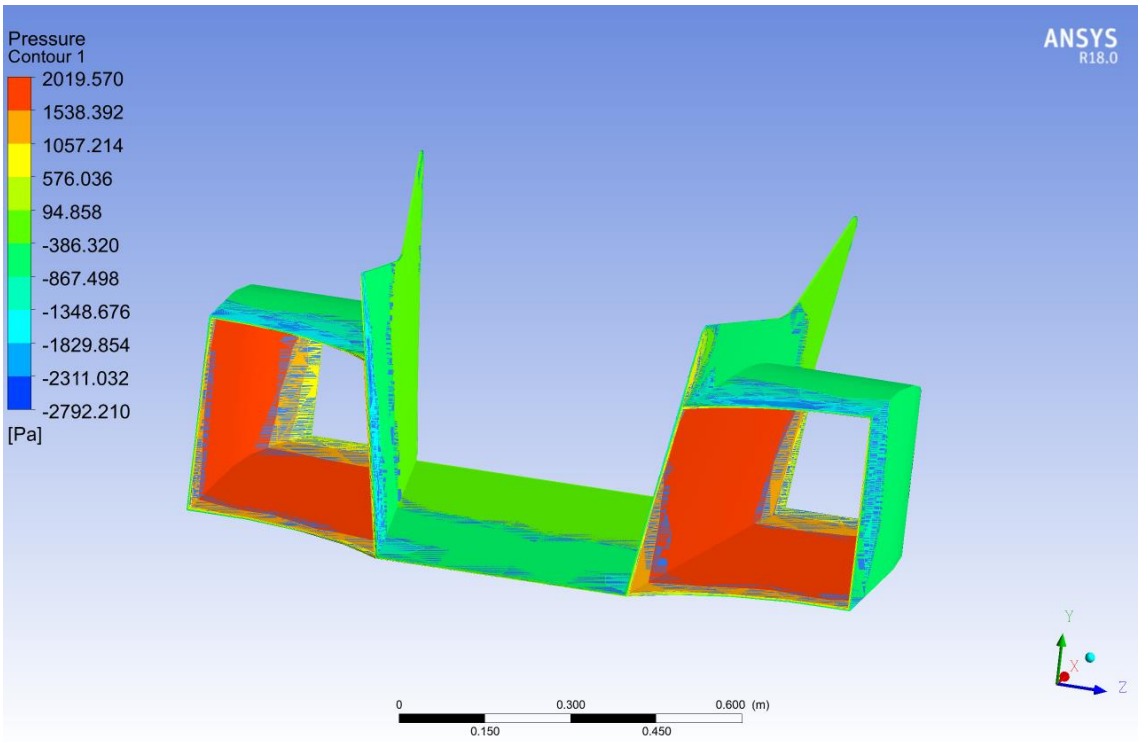


Figura 3-9: Análisis de presión en unidades de medida $[Pa]$

Fuente: Autores

3.5.1.4. *Análisis de turbulencia.*

El análisis de turbulencia identifica si un flujo de aire es desordenado o se comporta de forma laminar, al ser turbulento las partículas generan pequeños remolinos y las partículas no se desplazan en forma paralela; en este análisis se visualiza remolinos a la salida del pontón, estas turbulencias hacen que el vehículo se torne inestable.

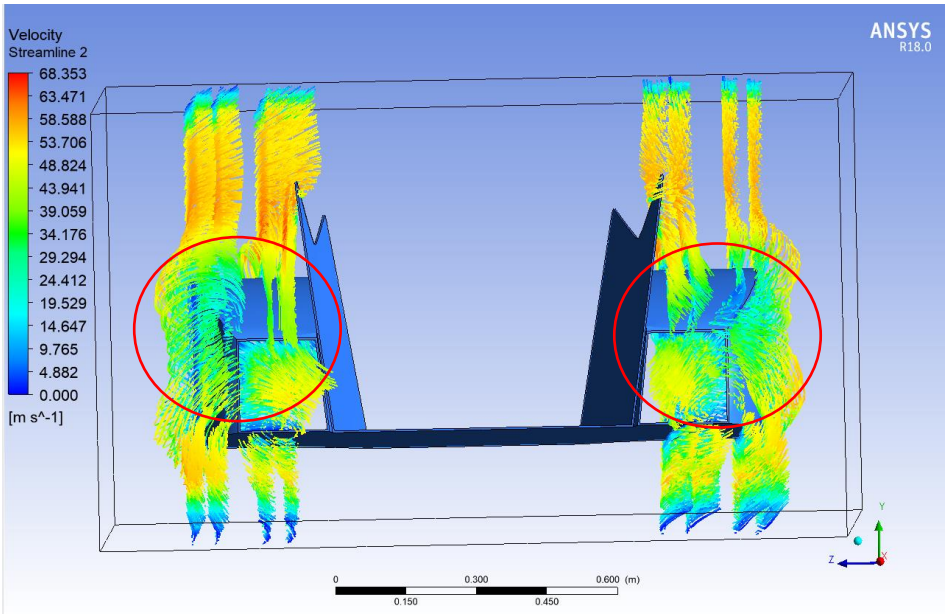


Figura 3-10: Identificación de turbulencias mediante la utilización de trayectorias de aire

Fuente: Autores

3.5.1.5. *Análisis de coeficiente aerodinámico.*

En este análisis se considera el cálculo de variables como fuerzas aerodinámicas, área transversal de la carrocería, velocidad del fluido y densidad del aire. La fuerza de arrastre y sustentación es el promedio de la fuerza calculada por el software Ansys.

Tabla 3-3: Fuerzas de arrastre y sustentación

Parámetros	Valor	Unidad
Fuerza (Y)	91,37	N
Fuerza (Z)	101,83	N

Fuente: Autores

3.5.1.6. *Coeficiente de sustentación* $[Cy]$

Dicho coeficiente viene dado principalmente por el accionar de las fuerzas perpendicular hacia el movimiento, mientras mayor sea la fuerza de sustentación mejor efecto piso se dará hacia el modelado.

Este coeficiente se calcula con la ayuda de software Ansys, el cual después de realizar aproximadamente 50 iteraciones, ha logrado estabilizar la curva, dando el valor del coeficiente de sustentación, cuyo valor es de $1.9328e^{-01}$ es decir de 0,19. Ansys denota dicho coeficiente como $[CL]$ debido a su traducción en ingles Lift.

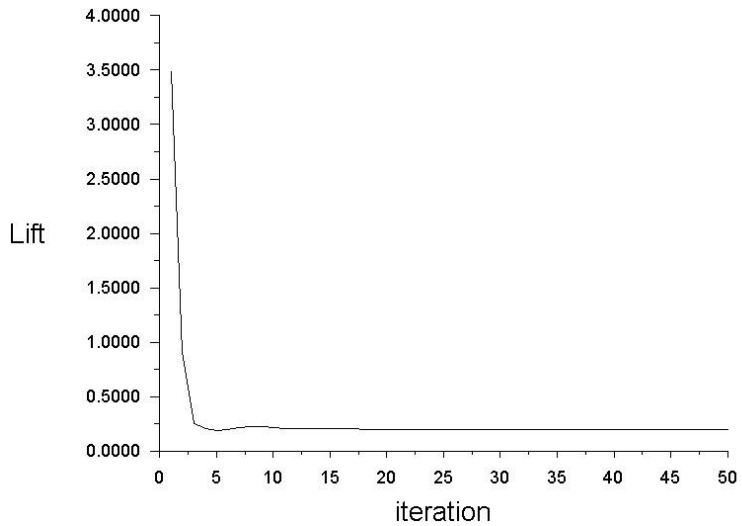
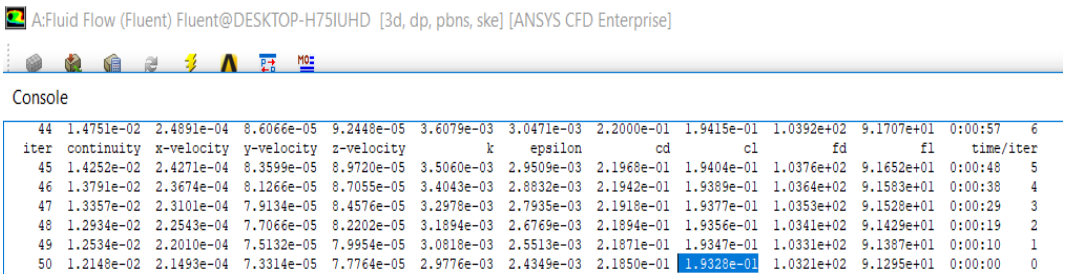


Grafico 3-1: Estabilización de la curva para hallar valor de sustentación

Fuente: Autores.



A:Fluid Flow (Fluent) Fluent@DESKTOP-H75IUHD [3d, dp, pbns, ske] [ANSYS CFD Enterprise]

Console

44	1.4751e-02	2.4891e-04	8.6066e-05	9.2448e-05	3.6079e-03	3.0471e-03	2.2000e-01	1.9415e-01	1.0392e+02	9.1707e+01	0:00:57	6
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.4252e-02	2.4271e-04	8.3599e-05	8.9720e-05	3.5060e-03	2.9509e-03	2.1968e-01	1.9404e-01	1.0376e+02	9.1652e+01	0:00:48	5
46	1.3791e-02	2.3674e-04	8.1266e-05	8.7055e-05	3.4043e-03	2.8832e-03	2.1942e-01	1.9389e-01	1.0364e+02	9.1583e+01	0:00:38	4
47	1.3357e-02	2.3101e-04	7.9134e-05	8.4576e-05	3.2978e-03	2.7935e-03	2.1918e-01	1.9377e-01	1.0353e+02	9.1528e+01	0:00:29	3
48	1.2934e-02	2.2543e-04	7.7066e-05	8.2202e-05	3.1894e-03	2.6769e-03	2.1894e-01	1.9356e-01	1.0341e+02	9.1429e+01	0:00:19	2
49	1.2534e-02	2.2010e-04	7.5132e-05	7.9954e-05	3.0818e-03	2.5513e-03	2.1871e-01	1.9347e-01	1.0331e+02	9.1387e+01	0:00:10	1
50	1.2148e-02	2.1493e-04	7.3314e-05	7.7764e-05	2.9776e-03	2.4349e-03	2.1850e-01	1.9328e-01	1.0321e+02	9.1295e+01	0:00:00	0

Grafico 3-2: Valor del coeficiente de sustentación después de 50 iteraciones

Fuente: Autores.

3.4.1.7. Coeficiente de arrastre [Cx]

Para el coeficiente de arrastre se toman en cuenta las fuerzas paralelas al movimiento, sabiendo que se necesita una mínima fuerza de arrastre, con el fin que el vehículo no ejercer demasiada potencia para vencer dichas fuerzas.

Este coeficiente se calcula con la ayuda de software Ansys, el cual después de realizar aproximadamente 50 iteraciones, ha logrado estabilizar la curva, dando el valor del coeficiente de arrastre de $2{,}1850e^{-01}$ es decir de 0,22. Ansys denota dicho coeficiente como [C_D] debido a su traducción en ingles Drag.

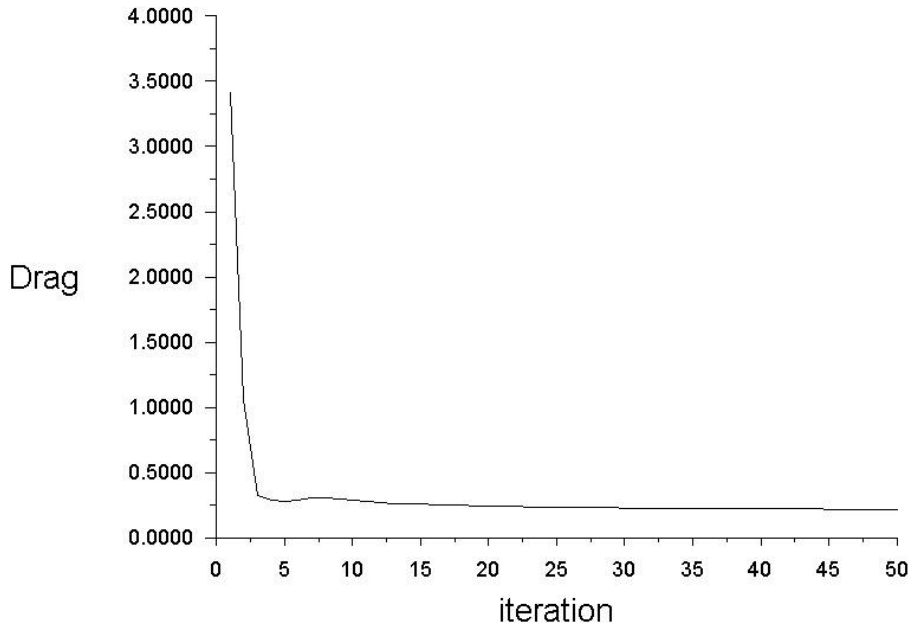
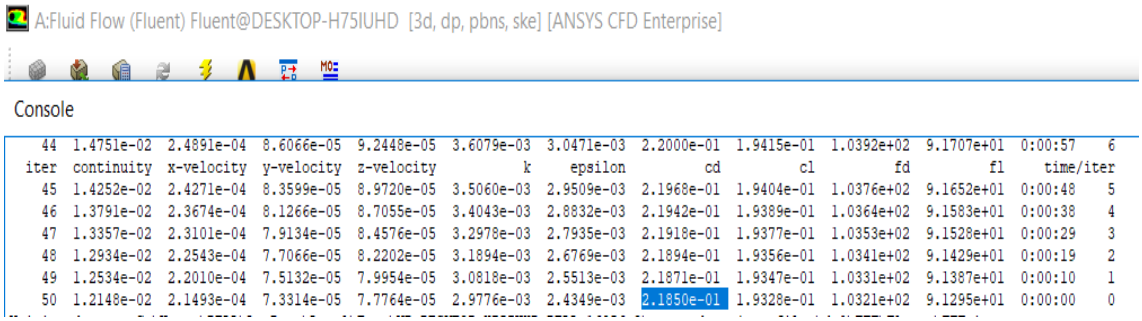


Grafico 3-3: Estabilización de la curva para hallar valor de arrastre

Fuente: Autores



A:Fluid Flow (Fluent) Fluent@DESKTOP-H75IUHD [3d, dp, pbns, ske] [ANSYS CFD Enterprise]

Console

44	1.4751e-02	2.4891e-04	8.6066e-05	9.2448e-05	3.6079e-03	3.0471e-03	2.2000e-01	1.9415e-01	1.0392e+02	9.1707e+01	0:00:57	6
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.4252e-02	2.4271e-04	8.3599e-05	8.9720e-05	3.5060e-03	2.9509e-03	2.1968e-01	1.9404e-01	1.0376e+02	9.1652e+01	0:00:48	5
46	1.3791e-02	2.3674e-04	8.1266e-05	8.7055e-05	3.4043e-03	2.8832e-03	2.1942e-01	1.9389e-01	1.0364e+02	9.1583e+01	0:00:38	4
47	1.3357e-02	2.3101e-04	7.9134e-05	8.4576e-05	3.2978e-03	2.7935e-03	2.1918e-01	1.9377e-01	1.0353e+02	9.1528e+01	0:00:29	3
48	1.2934e-02	2.2543e-04	7.7066e-05	8.2202e-05	3.1894e-03	2.6769e-03	2.1894e-01	1.9356e-01	1.0341e+02	9.1429e+01	0:00:19	2
49	1.2534e-02	2.2010e-04	7.5132e-05	7.9954e-05	3.0818e-03	2.5513e-03	2.1871e-01	1.9347e-01	1.0331e+02	9.1387e+01	0:00:10	1
50	1.2148e-02	2.1493e-04	7.3314e-05	7.7764e-05	2.9776e-03	2.4349e-03	2.1850e-01	1.9328e-01	1.0321e+02	9.1295e+01	0:00:00	0

Grafico 3-4: Valor del coeficiente de arrastre después de 50 iteraciones

Fuente: Autores

3.5.2. Análisis y simulación aerodinámica diseño 2

3.5.2.1. *Mallado*

Para la simulación aerodinámica del diseño 2 se utiliza las mismas condiciones aplicadas para el diseño 1, con la diferencia en la variante de nodos y elementos.

El mallado para este caso es bastante bueno como se denotar en el grafico 11-3.

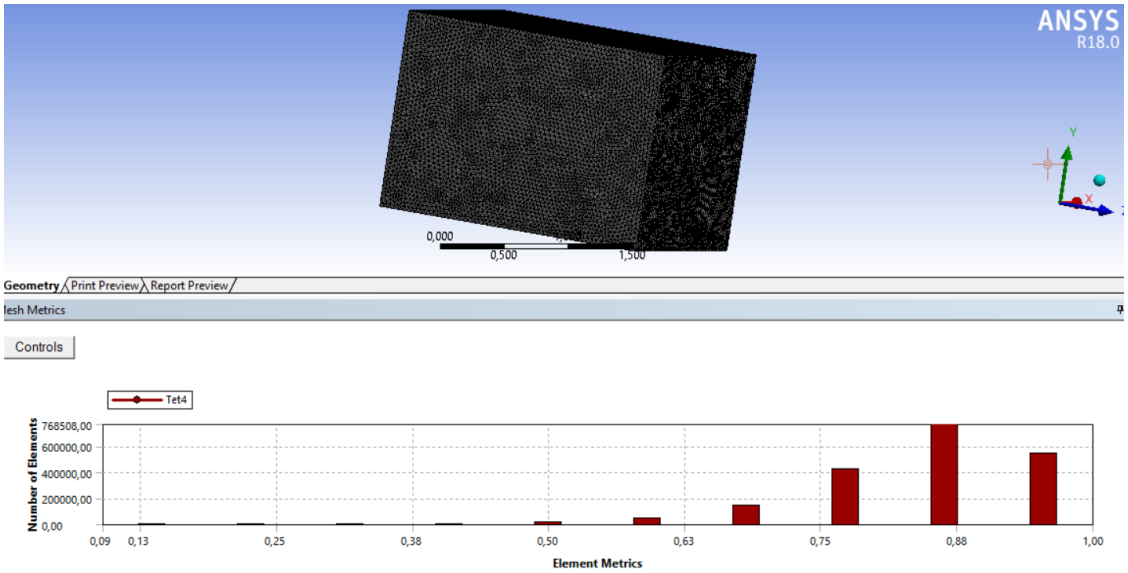


Figura 3-11: Calidad de mallado, diseño 2

Fuente: Autores

Una vez culminado el mallado se debe configurar los parámetros para el análisis aerodinámico de los pontones que se detalla en la tabla 4-3:

Tabla 3-4: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

Condiciones de mallado		**Datos para la simulación**	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	349887	Temperatura del fluido	30°C
Elementos	1944102	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Malla máxima Malla promedio	0,99999 0,84592	Numero de iteraciones	50
Malla mínima	8,9899e-002	Velocidad	27,778 m/s

Fuente: Autores

3.5.2.2. *Análisis de velocidades.*

En el siguiente diseño se tiene una velocidad libre que se aproxima a los pontones paralela al eje de coordenadas x, las velocidades del fluido tienen un valor cero en la superficie del pontón, aumentando la velocidad por el desprendimiento del lujo laminar, el cambio de colores denota la variación de velocidad que influye en el diseño del modelo, teniendo como un valor bajo de velocidad en el color azul y un aumento progresivo hacia el color rojo, dando la máxima velocidad de 89, 64 m/s.

El comportamiento aerodinámico de este diseño para el efecto piso es aceptable, debido a que la velocidad en la superficie superior es menor en comparación con la velocidad generada en la superficie inferior, obteniendo un efecto de sustentación negativo, sin embargo, se denota una serie de turbulencias al final de la cara superior.

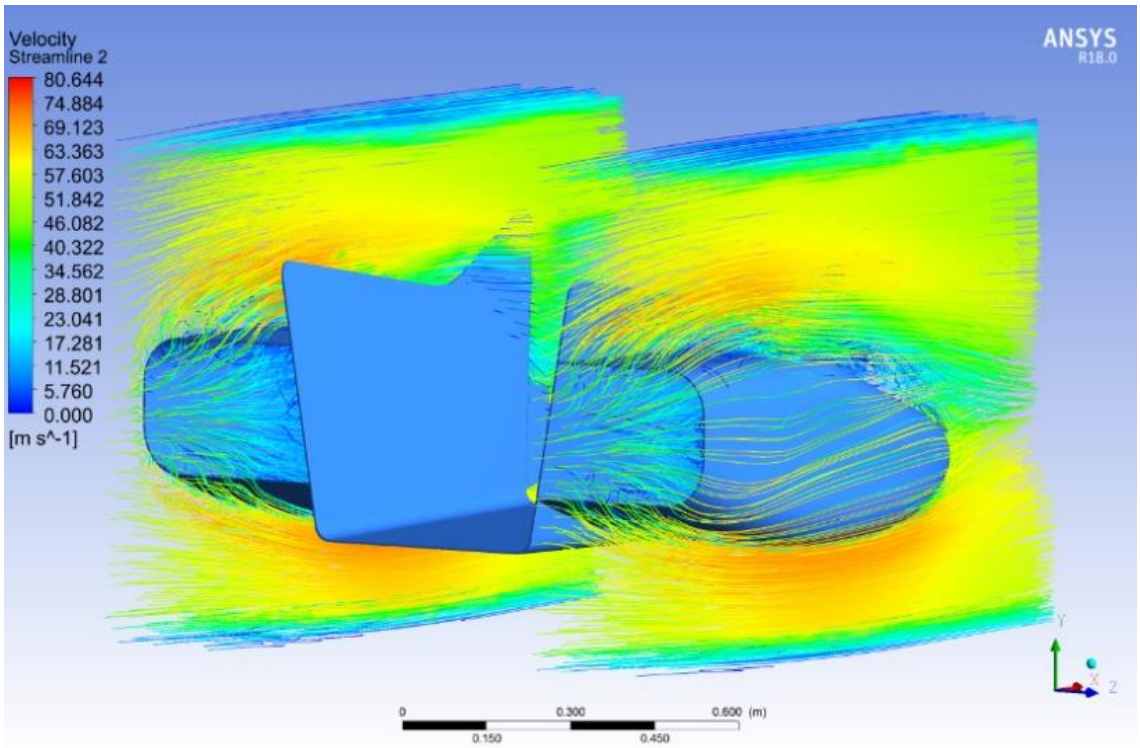


Figura 3-12: Análisis de velocidad diseño 2 en unidades m/s

Fuente: Autores

3.5.2.3. *Análisis de presión*

En el análisis se observa una presión máxima (color rojo) de 2618,590 [Pa] siendo mayor que la del diseño 1, en el interior del pontón es donde se genera la máxima presión. En la figura 13-3, se muestra el efecto que produce la presión en el diseño, teniendo una presión muy elevada dentro del pontón, lo cual claramente no contribuye al efecto arrastre, considerándolo como un inconveniente.

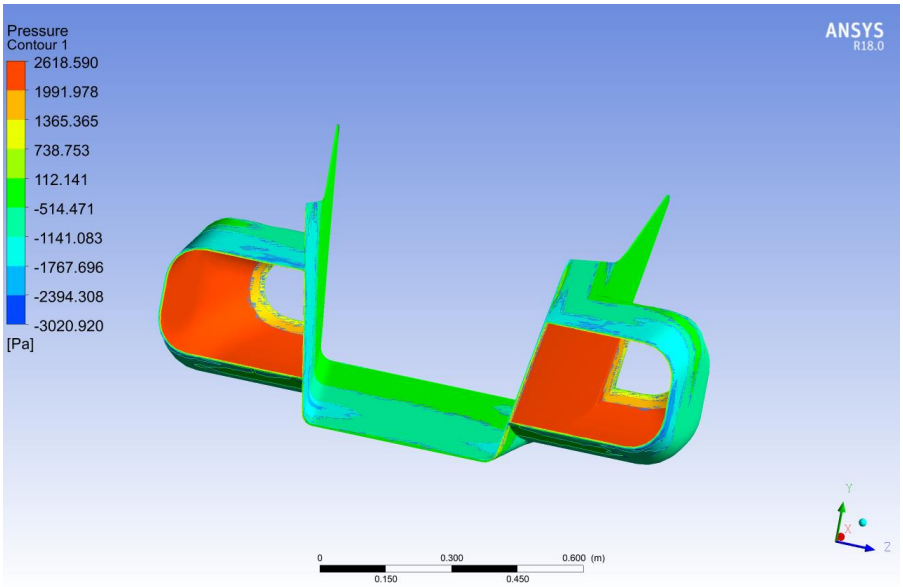


Figura 3-13: Análisis de presión diseño 2 en unidades [Pa]

Fuente: Autores

3.5.2.4. *Análisis de turbulencia en el diseño.*

La turbulencia es un fenómeno que afecta al comportamiento aerodinámico, en el diseño se observa que existe un flujo laminar a la entrada del pontón, pero cambia a turbulento en la parte media del interior del pontón, debido a que las partículas invaden la trayectoria de las partículas adyacentes provocando remolinos, dificultando la salida del aire y afectando a la estabilidad del vehículo y corriendo el riesgo de pérdida de pista.

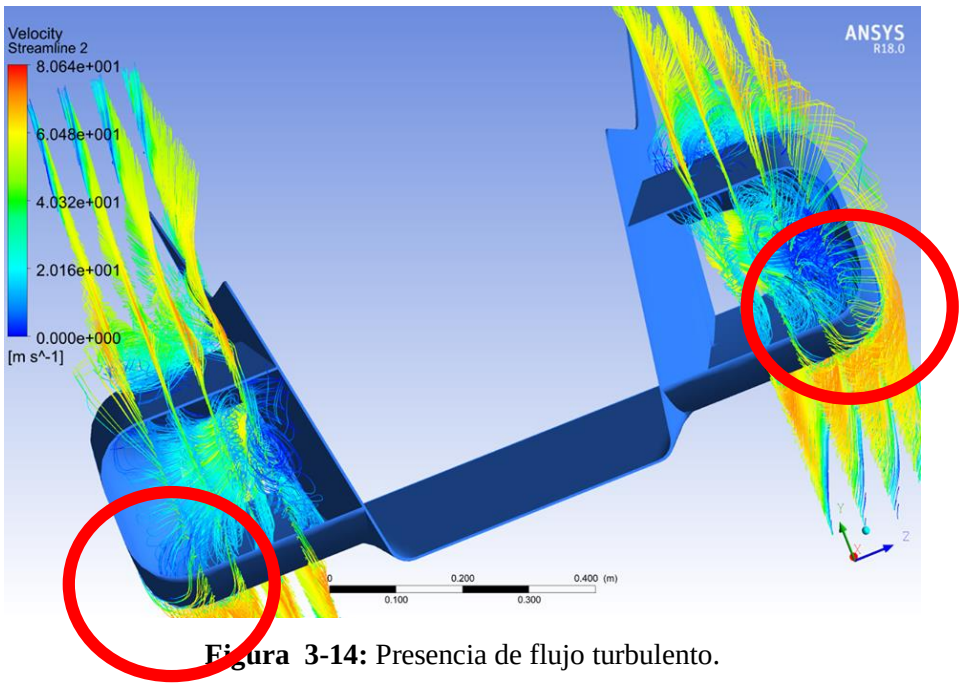


Figura 3-14: Presencia de flujo turbulento.

Fuente: Autores

3.5.2.5. *Análisis de coeficiente aerodinámico.*

Este análisis se considera el cálculo de variables como fuerzas aerodinámicas, área transversal de la carrocería, velocidad del fluido y densidad del aire. La fuerza de arrastre y sustentación es el promedio de la fuerza calculada por el software Ansys.

Tabla 3-5: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

Parámetros	Valor	Unidades
Fuerza (Y)	56,345	N
Fuerza (Z)	77,694	N

Fuente: Autores

3.5.2.6. *Coeficiente de sustentación.* $[C_Y]$

Al igual que el diseño anterior se ayuda del software para el cálculo de este coeficiente. El cual se trabaja de la misma manera con un valor de 50 iteraciones.
En la el grafico 3-5 se muestra el valor del coeficiente, el cual es de $C_L = 0{,}2124$
Ansys denota dicho coeficiente como $[CL]$ debido a su traducción en ingles Lift.

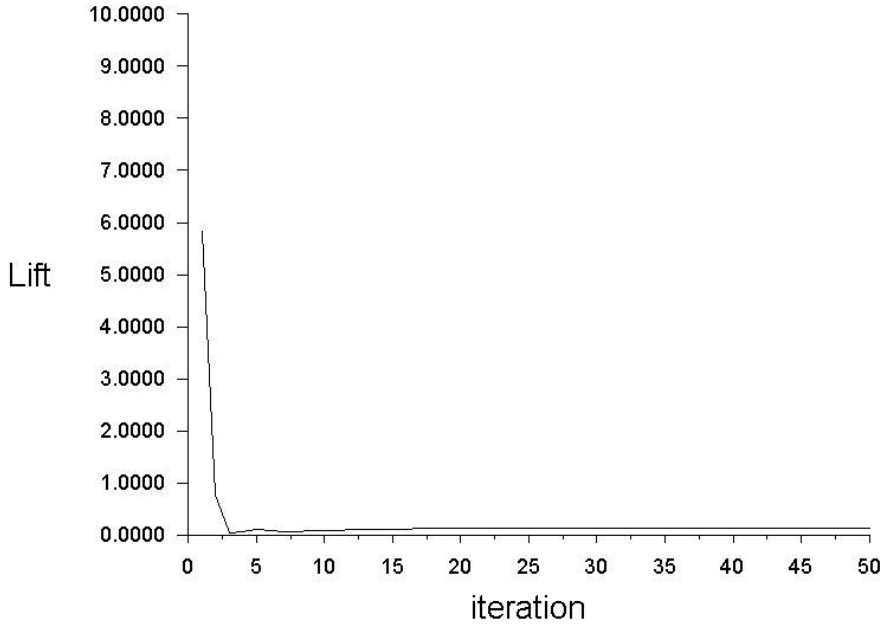


Grafico 3-5: *Estabilización de la curva para hallar valor de sustentación*

Fuente: Autores

A:Fluid Flow (Fluent) Fluent@DESKTOP-H75IUHD [3d, dp, pbns, ske] [ANSYS CFD Enterprise]

Console

44	1.3347e-02	2.2871e-04	1.0107e-04	8.5632e-05	5.2471e-03	4.9658e-03	1.6820e-01	1.2290e-01	7.9447e+01	5.8049e+01	0:01:58	6
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.2919e-02	2.2196e-04	9.7577e-05	8.2361e-05	5.2074e-03	4.8435e-03	1.6751e-01	1.2256e-01	7.9121e+01	5.7889e+01	0:01:39	5
46	1.2518e-02	2.1582e-04	9.4339e-05	7.9423e-05	5.1602e-03	4.6993e-03	1.6692e-01	1.2219e-01	7.8843e+01	5.7717e+01	0:01:17	4
47	1.2140e-02	2.1016e-04	9.1310e-05	7.6664e-05	5.1208e-03	4.5924e-03	1.6630e-01	1.2186e-01	7.8552e+01	5.7559e+01	0:00:54	3
48	1.1804e-02	2.0495e-04	8.8400e-05	7.4171e-05	5.0842e-03	4.5126e-03	1.6581e-01	1.2163e-01	7.8321e+01	5.7452e+01	0:00:36	2
49	1.1470e-02	2.0010e-04	8.5685e-05	7.1875e-05	5.0479e-03	4.4363e-03	1.6531e-01	1.2148e-01	7.8082e+01	5.7378e+01	0:00:18	1
50	1.1129e-02	1.9547e-04	8.3025e-05	6.9673e-05	4.9800e-03	4.2852e-03	1.6482e-01	1.2124e-01	7.7853e+01	5.7266e+01	0:00:00	0

Figura 16-3: Valor del coeficiente de sustentación después de 50 iteraciones

Fuente: Autores

3.5.2.7. Coeficiente de arrastre C_X

El valor gracias a la ayuda del software después de las mismas 50 iteraciones es de Cx = 0,6482 Ansys denota dicho coeficiente como $[C_D]$ debido a su traducción en ingles Drag.

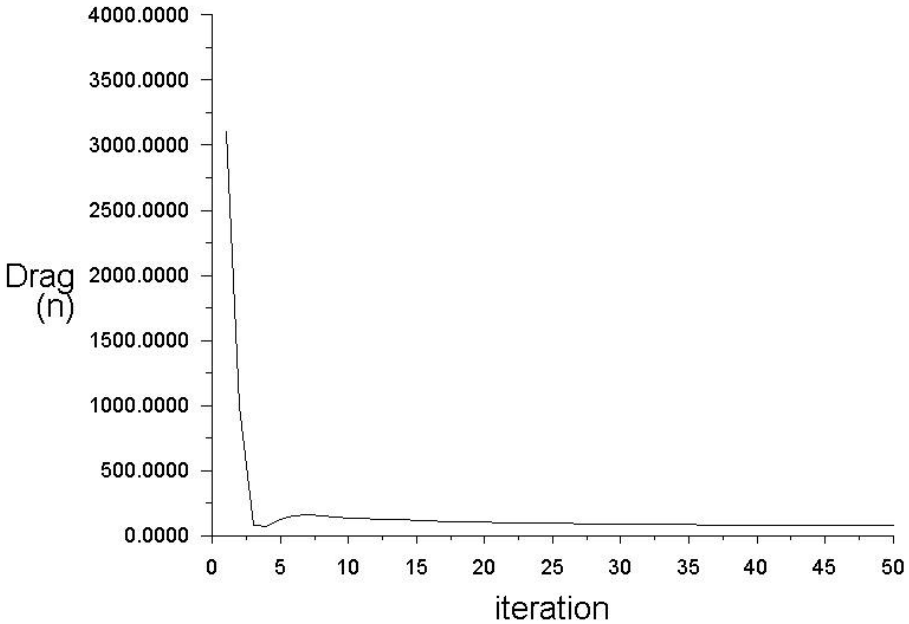


Grafico 3-6: Estabilización de la curva para hallar valor de arrastre

Fuente: Autores

A:Fluid Flow (Fluent) Fluent@DESKTOP-H75IUHD [3d, dp, pbns, ske] [ANSYS CFD Enterprise]

Console

44	1.3347e-02	2.2871e-04	1.0107e-04	8.5632e-05	5.2471e-03	4.9658e-03	1.6820e-01	1.2290e-01	7.9447e+01	5.8049e+01	0:01:58	6
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.2919e-02	2.2196e-04	9.7577e-05	8.2361e-05	5.2074e-03	4.8435e-03	1.6751e-01	1.2256e-01	7.9121e+01	5.7889e+01	0:01:39	5
46	1.2518e-02	2.1582e-04	9.4339e-05	7.9423e-05	5.1602e-03	4.6993e-03	1.6692e-01	1.2219e-01	7.8843e+01	5.7717e+01	0:01:17	4
47	1.2140e-02	2.1016e-04	9.1310e-05	7.6664e-05	5.1208e-03	4.5924e-03	1.6630e-01	1.2186e-01	7.8552e+01	5.7559e+01	0:00:54	3
48	1.1804e-02	2.0495e-04	8.8400e-05	7.4171e-05	5.0842e-03	4.5126e-03	1.6581e-01	1.2163e-01	7.8321e+01	5.7452e+01	0:00:36	2
49	1.1470e-02	2.0010e-04	8.5685e-05	7.1875e-05	5.0479e-03	4.4363e-03	1.6531e-01	1.2148e-01	7.8082e+01	5.7378e+01	0:00:18	1
50	1.1129e-02	1.9547e-04	8.3025e-05	6.9673e-05	4.9800e-03	4.2852e-03	1.6482e-01	1.2124e-01	7.7853e+01	5.7266e+01	0:00:00	0

Grafico 3-7: Valor del coeficiente de arrastre después de 50 iteraciones

Fuente: Autores

3.5.3. Análisis de velocidades diseño 3

3.5.3.1. *Mallado*

En el análisis 3 se realiza el mallado, este mallado ayuda a definir las ecuaciones y a obtener resultados que se asemejan a la realidad.

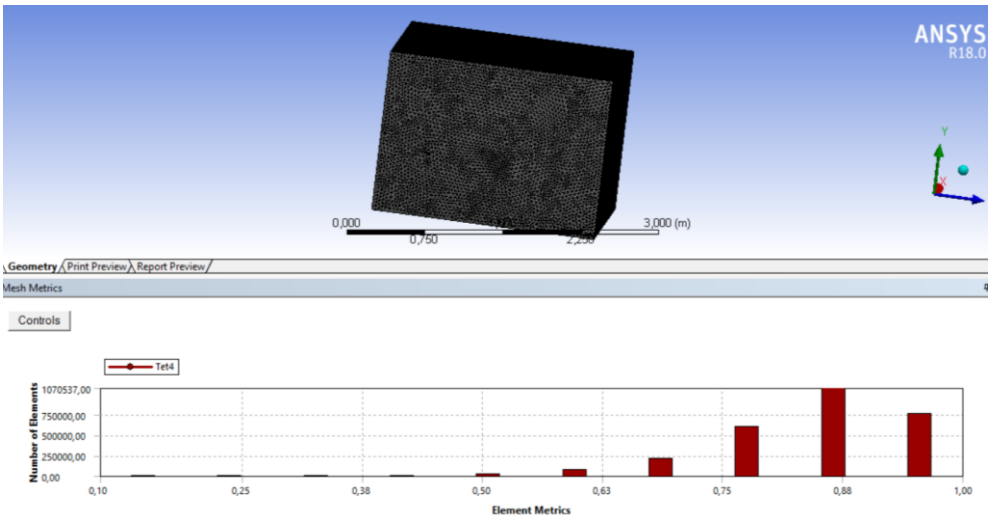


Figura 3-15: Claridad de mallado

Fuente: Autores

En la figura se observa un comportamiento aerodinámico eficiente y resultados muy óptimos.

Tabla 3-6*:* Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

Condiciones de mallado		**Datos para la simulación**	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	487099	Temperatura del fluido	30°C
Elementos	2725404	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Malla máxima Malla promedio	0,999998885215166 0,846805505268999	Numero de iteraciones	50
Malla mínima	0,10170375332181	Velocidad	27,778 m/s

Fuente: Autores

3.5.3.2. *Análisis de velocidades.*

Se observa en el análisis aerodinámico un comportamiento eficiente pues no existe flujo turbulento, posee un flujo laminar y las partículas del fluido tienen una trayectoria regular bien definidas comportándose como laminas o capas paralelas, entre sí se deslizan sin producir turbulencia por el ángulo de ataque que no supera los 8°, observa que no hay turbulencia cerca del borde de salida del pontón.

El diseño del pontón ayuda a canalizar el aire sin que exista flujo turbulento, el fluido que toca con la superficie tiene una velocidad nula, además se evidencia que no existe turbulencia en el perfil y la velocidad del aire es equilibrada, tanto dentro como fuera del pontón.

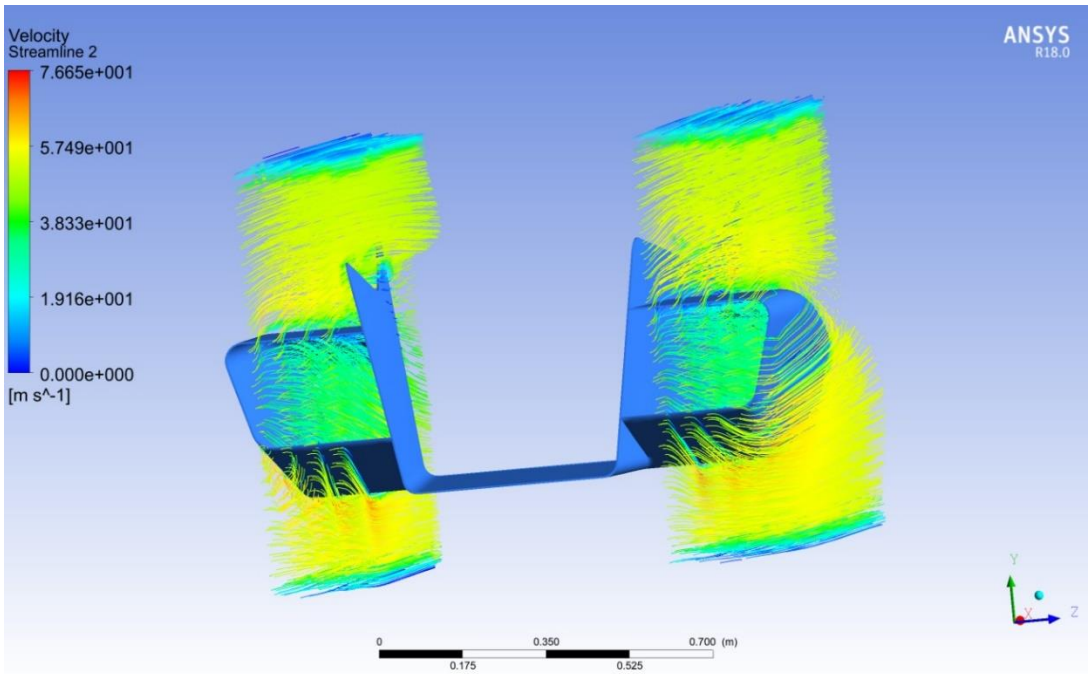


Figura 3-16: Análisis de velocidad en unidades [m/s]

Fuente: Autores

3.5.3.3. *Análisis de presión.*

En este diseño se observar que existe variación de presiones en la superficie inferior y superior del pontón, a diferencia del resto de modelos, en este caso la presión es menor tanto en la salida como en la entrada, lo que claramente significa que el coeficiente de arrastre debe reducirse.

Si se habla de zonas críticas (color rojo), las únicas que se denotan son las halladas en la parte de entrada del pontón con una presión de 1624,790 [Pa], el pontón en su diseño se reduce la abertura disminuyendo la presión hasta obtener una presión de salida de 771,648 [Pa].

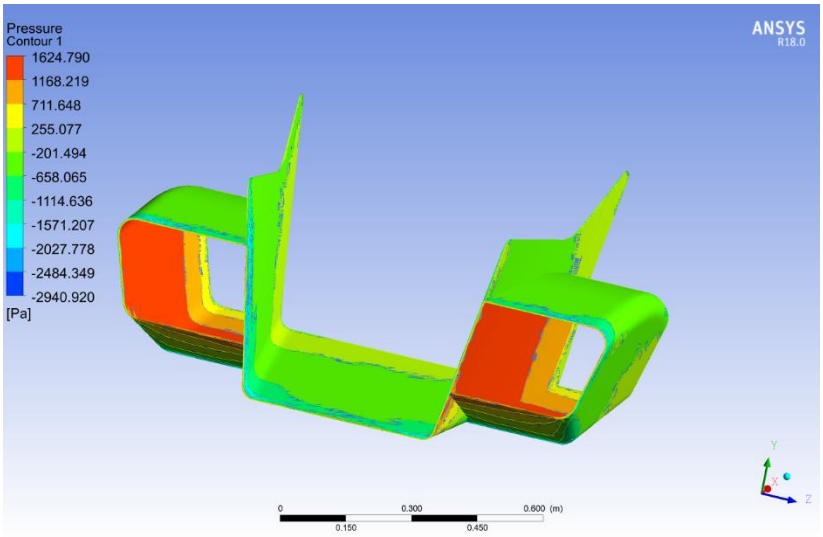


Figura 3-17: Análisis de presiones en unidades [Pa]

Fuente: Autores

3.5.3.4. *Análisis de turbulencia.*

Para este análisis durante toda su longitud se tiene un flujo laminar en el rendimiento aerodinámico, debido a que as partículas siguen una trayectoria especifica sin cruzarse a las trayectorias adyacentes, a la salida del pontón se denota pequeños remolinos, remolinos que no afectan en nada con respecto a la parte aerodinámica.

El comportamiento del flujo en su totalidad es un flujo laminar, ayudando a la estabilidad del monoplaza, manteniendo el equilibrio sobre todo en curvas y cambios de sección de pista.

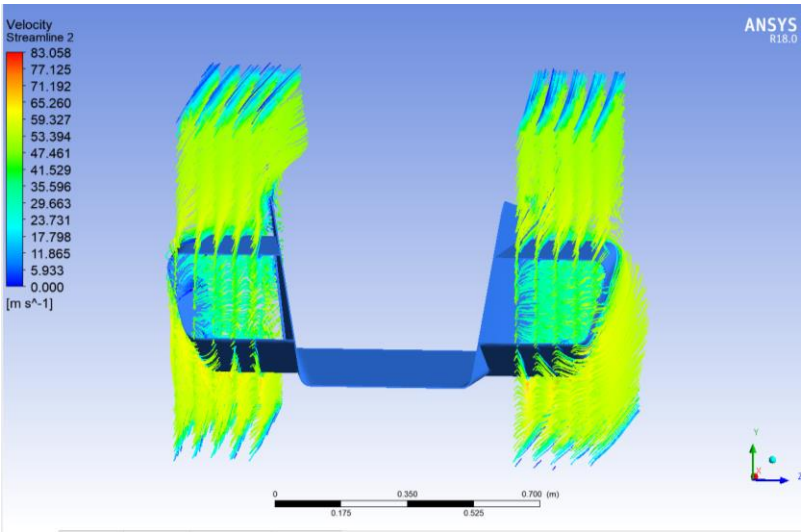


Figura 3-18: Análisis de velocidad en unidades [m/s]

Fuente: Autores

3.5.3.5. *Análisis de coeficiente aerodinámico.*

Este análisis se considera el cálculo de variables como fuerzas aerodinámicas, área transversal de la carrocería, velocidad del fluido y densidad del aire. La fuerza de arrastre y sustentación es el promedio de la fuerza calculada por el software Ansys.

Tabla 3-7: Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

Parámetros	Valor	Unidad
Fuerza (Y)	41,125	N
Fuerza (Z)	86,700	N
Densidad	1,184	Kg/m^3
Velocidad	27,77	m/m^2

Fuente: Autores

3.5.3.6. *Coeficiente de sustentación*

Con la ayuda del mismo software se consigue dicho valor. El cual se trabaja de la misma manera con un valor de 50 iteraciones.

En la el grafico se muestra el valor del coeficiente, el cual es de $C_L = 0.1816$, Ansys denota dicho coeficiente como [CL] debido a su traducción en ingles Lift.

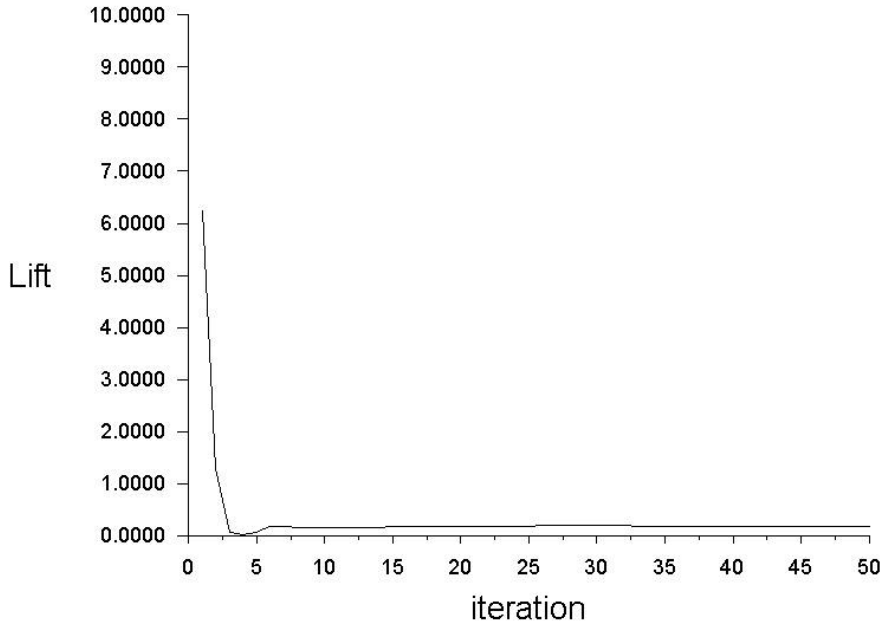


Grafico 3-8: Estabilización de la curva para hallar valor de sustentación

Fuente: Autores

:onsole

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.0972e-02	1.3001e-04	7.1479e-05	5.7498e-05	1.9365e-03	1.7657e-03	8.7647e-02	1.8273e-01	4.1399e+01	8.6311e+01	0:02:32	5
46	1.0738e-02	1.2754e-04	6.9510e-05	5.6061e-05	1.9120e-03	1.7141e-03	8.7413e-02	1.8253e-01	4.1289e+01	8.6217e+01	0:02:05	4
47	1.0521e-02	1.2515e-04	6.7695e-05	5.4721e-05	1.8902e-03	1.6644e-03	8.7184e-02	1.8229e-01	4.1181e+01	8.6103e+01	0:01:35	3
48	1.0300e-02	1.2277e-04	6.5929e-05	5.3434e-05	1.8694e-03	1.6176e-03	8.6953e-02	1.8200e-01	4.1071e+01	8.5968e+01	0:01:04	2
49	1.0106e-02	1.2053e-04	6.4308e-05	5.2232e-05	1.8517e-03	1.5750e-03	8.6735e-02	1.8185e-01	4.0969e+01	8.5894e+01	0:00:33	1
50	9.9182e-03	1.1840e-04	6.2818e-05	5.1110e-05	1.8357e-03	1.5396e-03	8.6536e-02	1.8160e-01	4.0875e+01	8.5780e+01	0:00:00	0

:iting data to C:\Users\DELL\AppData\Local\Temp\WB_DESKTOP-H75IUHD_DELL_1808_2\unsaved_project_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.ip ...

Grafico 3-9: Valor del coeficiente de sustentación después de 50 iteraciones

Fuente: Autores

3.5.3.7. Coeficiente de arrastre

El valor gracias a la ayuda del software después de las mismas 50 iteraciones es de Cx =0,086 Ansys denota dicho coeficiente como $[C_D]$ debido a su traducción en ingles Drag.

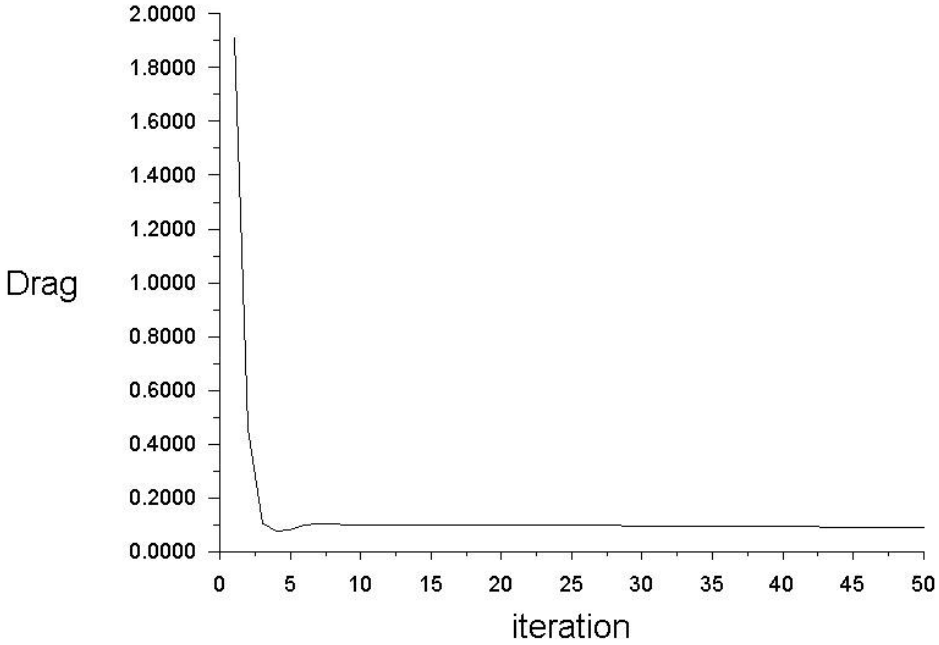


Grafico 3-10: Estabilización de la curva para hallar valor de arrastre

Fuente: Autores

A:Fluid Flow (Fluent) Fluent@DESKTOP-H75IUHD [3d, dp, pbns, ske] [ANSYS CFD Enterprise]

Console

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon	cd	cl	fd	fl	time/iter	
45	1.0972e-02	1.3001e-04	7.1479e-05	5.7498e-05	1.9365e-03	1.7657e-03	8.7647e-02	1.8273e-01	4.1399e+01	8.6311e+01	0:02:32	5
46	1.0738e-02	1.2754e-04	6.9510e-05	5.6061e-05	1.9120e-03	1.7141e-03	8.7413e-02	1.8253e-01	4.1289e+01	8.6217e+01	0:02:05	4
47	1.0521e-02	1.2515e-04	6.7695e-05	5.4721e-05	1.8902e-03	1.6644e-03	8.7184e-02	1.8229e-01	4.1181e+01	8.6103e+01	0:01:35	3
48	1.0300e-02	1.2277e-04	6.5929e-05	5.3434e-05	1.8694e-03	1.6176e-03	8.6953e-02	1.8200e-01	4.1071e+01	8.5968e+01	0:01:04	2
49	1.0106e-02	1.2053e-04	6.4308e-05	5.2232e-05	1.8517e-03	1.5750e-03	8.6735e-02	1.8185e-01	4.0969e+01	8.5894e+01	0:00:33	1
50	9.9182e-03	1.1840e-04	6.2818e-05	5.1110e-05	1.8357e-03	1.5396e-03	8.6536e-02	1.8160e-01	4.0875e+01	8.5780e+01	0:00:00	0

Writing data to C:\Users\DELL\AppData\Local\Temp\WB_DESKTOP-H75IUHD_DELL_1808_2\unsaved_project_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.ip ...

Figura 23-3: Valor del coeficiente de arrastre después de 50 iteraciones

Fuente: Autores

3.6. Condiciones para aprobar el diseño mediante parámetros analizados

En este apartado se elige el diseño a construir, se tomará en cuenta los resultados de Ansys como velocidad, presión, coeficiente de sustentación, coeficiente de arrastre, turbulencia generada en la superficie y en el interior, en la entrada y a las salidas del pontón.

3.6.1. Comparación de velocidades de los tres diseños

Como primera comparación, se toma la velocidad del aire, este parámetro es muy importante para poder elegir el diseño adecuado, debido a que el interés es que exista una mayor velocidad en la parte inferior del pontón en comparación con la velocidad de la cara superior, recordando que la presión es inversamente proporcional a la velocidad, al tener una menor velocidad en la parte superior genera una presión mayor que en la cara inferior, obteniendo sustentación negativa, que es la que interesa. Como se puede notar el gráfico en el diseño 1, la velocidad en la parte superior es mayor que en la parte inferior, con lo que se tiene problemas con este parámetro en este diseño por la presión mayor generada en la cara inferior; en el modelo 2 la velocidad en la superficie inferior es mayor (color rojo) con respecto a la superficie superior, sabiendo que a mayor velocidad menor presión, dicho diseño cumple con los requisitos, lo mismo sucede en el diseño 3, donde se tiene mayor velocidad en la cara superior (color azul), cumpliendo con lo requerido para el parámetro de velocidad.

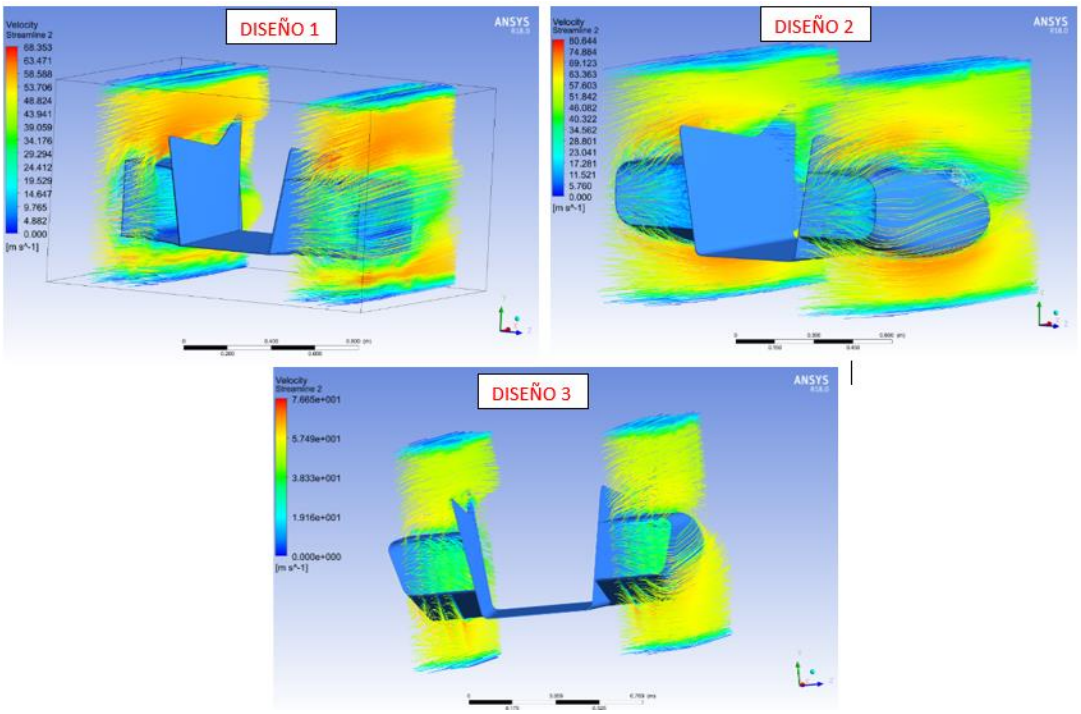


Figura 3-19: Comparación de velocidades

Fuente: Autores.

En la tabla 3-8 se representa los valores de velocidad para distinguir de mejor manera la velocidad y su accionar en cada uno de los modelos.

Tabla 3-8: Comparación de velocidad de los 3 diseños.

DISEÑO	PERFIL	$V_{máx}$ (m/s)	V_{min} (m/s)
1	Superior	58,588	39,059
	Inferior	19,529	4,882
2	Superior	28,811	5,760
	Inferior	69,123	28,801
3	Superior	38,33	19,16
	Inferior	57,49	38,33

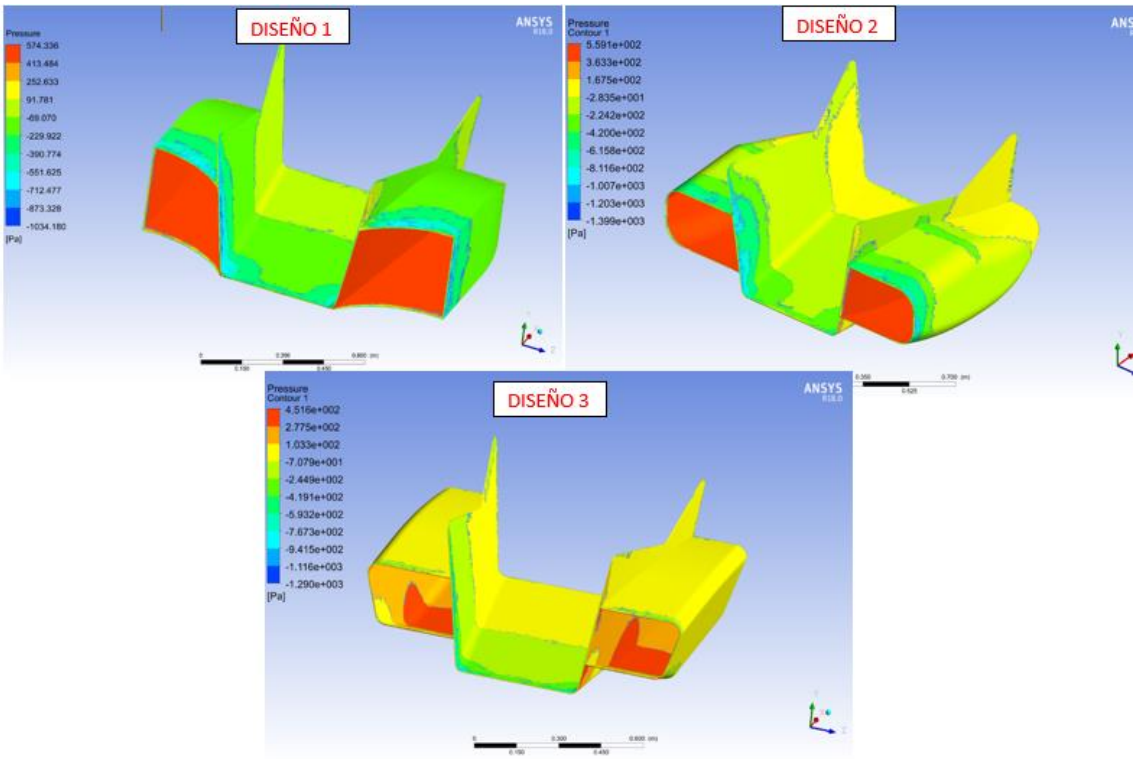
Fuente: Autores

En comparación de la velocidad tanto en el perfil superior como inferior los diseños que desempeñan el objetivo deseado son el número 2 y 3, por el motivo de la sustententación negativa.

3.6.2. Comparación de presiones de los tres diseños.

La presión es un factor importante para reducir la resistencia al avance, pues una de las contribuciones para que la resistencia al avance disminuya es la resistencia a la densidad generada por la densidad del aire y la resistencia interna generada por el flujo interno; por todo esto interesa que la presión en la entrada de los pontones sea la menor, con el fin de eliminar resistencia al avance en las entradas.

Para los diseños 1 y 2, se tiene una presión elevada (color rojo) de 2019,570 Pa y 2618,590 Pa respectivamente, mientras que para el diseño del pontón 3, la presión disminuye en la entrada y se eleva solo en una zona específica en su interior (color rojo) con un valor de 1624,790 Pa, valor menor en comparación a diferencia de las presiones de los otros diseños. Con estas referencias y valores en relación a la presión interna el diseño más eficaz es el diseño 3



.

Figura 3-20: Comparación de presiones de los tres diseños.

Fuente: Autores.

En la tabla 3-9 se detalla el valor de la presión máxima generada en las entradas de los pontones de los 3 diseños, con ello verificando que el diseño 3 es el que se desempeña mejor al ofrecer una menor presión y con ello una menor resistencia al avance.

Tabla 3-9: Comparación de la presión de los 3 diseños.

DISEÑO	PRESION (Pa)
1	**2019,570**
2	**2618,590**
3	**1624,790**

Fuente: Autores.

3.6.3. Comparación de turbulencias de los tres diseños.

Toda partícula de un fluido que está en contacto con un sólido toma la misma velocidad del sólido, debido a que no existe deslizamiento entre el fluido y el sólido, dicha propiedad es conocida como condición de no deslizamiento.

Cuando las partículas del fluido rodean a un dispositivo aerodinámico estas partículas están sometidas a condición de no deslizamiento, generando una velocidad relativa de cero, esta se genera porque las partículas toman trayectorias paralelas a la forma del sólido, sin embargo estas partículas a su vez están en contacto con otras partículas y estas con otras y así sucesivamente; lo que interesa es que mientras mayor sea a cantidad de capas de partículas que adopten la forma del sólido, mejor flujo tendrá, sin embargo es inevitable que con el aumento de la velocidad, estas capas de partículas se sigan deformando, generando flujo turbulento, el diseño del solido interviene en su gran parte para mantener el mayor número de capas de partículas que sigan la trayectoria del diseño del sólido, ayudando a evitar turbulencia y con esto inestabilidad.
En el caso que existan turbulencia en la parte interior de un dispositivo aerodinámico, esta hará que aumente la fuerza a la resistencia al avance, además dicha turbulencia interna genera inestabilidad, pudiéndose provocar la reducción de maniobrabilidad.

Dicho todo se verifica las turbulencias en los tres diseños, observando que en los dos primeros modelos se genera turbulencia en la entrada del pontón y en sus alrededores, sin embargo, para el diseño 3, el comportamiento laminar es mejor tanto interna como exteriormente.

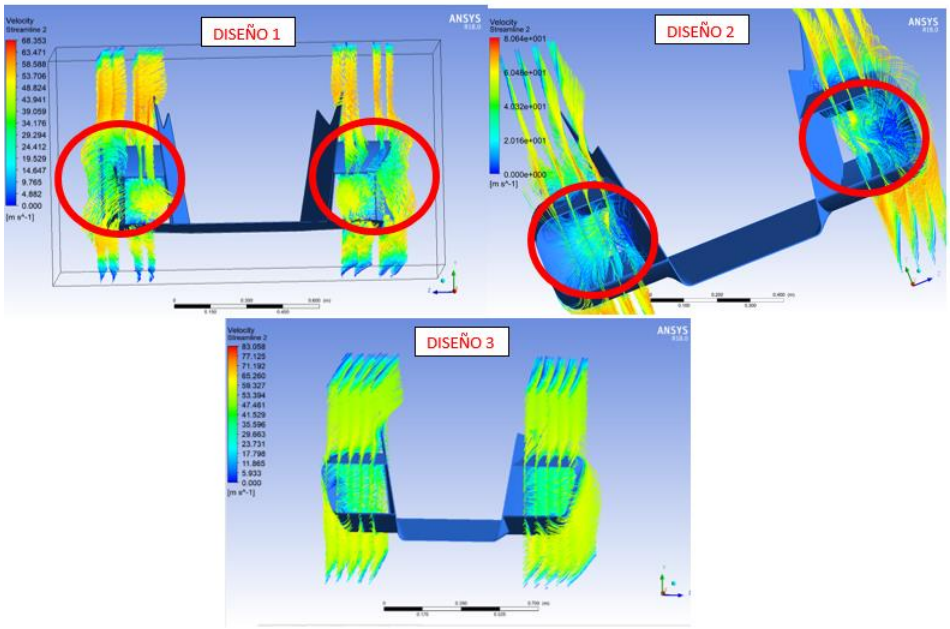


Figura 3-21: Comparación de turbulencias de los tres diseños.

Fuente: Autores.

3.6.4. Comparación de coeficiente de sustentación de los tres diseños.

Este coeficiente se genera por el accionar de las fuerzas generadas en dirección perpendicular al movimiento del sólido, y mientras mayor sea dicho valor, mejor efecto piso y estabilidad tendrá

el vehículo. En la tabla 3-10 se compara los tres diseños con respecto al coeficiente de sustentación:

Tabla 3-10: Resultados de coeficientes aerodinámicos de sustentación C_L

Comparación de coeficientes de sustentación (C_L)	
Diseño	Valor
1	0,19328
2	0,12124
3	0,1816

Fuente: Autores

Según estudios realizados al modelo de PERFIL ALAR NACA, dicho diseño tienen un valor de coeficiente de sustentación de 0.2, y muros diseños 1 y 3 se acercan mucho a dicho valor, por lo cual se acepta sin inconveniente estos modelos y se descarta el modelo 1.

3.6.5. Comparación de coeficiente de arrastre de los tres diseños.

Este coeficiente es uno de los más importantes, ya que es el encargado de oponerse al movimiento del vehículo, al tener un coeficiente relativamente bajo disminuye en forma notable el consumo de combustible, de esta manera el vehículo puede llegar a picos altos de velocidad en un tiempo menor. En la tabla 3-11, se muestra la comparativa de dicho coeficiente de los 3 modelos

Tabla 3-11: Resultados de coeficiente aerodinámico de arrastre (C_D)

Comparación de coeficientes de arrastre (Cd)	
Diseño	Valor
1	0,2185
2	0,1648
3	0,0865

Fuente: Autores

En el gráfico 3-23 se muestra el valor del coeficiente de sustentación de varios vehículos, y se compara con el valor obtenido de nuestros 3 diseños.

Modelo	Cx
Opel Kadett (1989)	0,38
Citröen CX (1974)	0,36
Opel Astra (2004)	0,32
Peugeot 807 (2002)	0,33
Renault Espace (1997)	0,36
Renault Espace (2002)	0,35
Renault Vel Satis (2002)	0,33
Hispano Divo (2003)	0,349
Irizar PB (2002)	0,55
Camión con deflectores	0,70
Autobús	0,49
Motocicleta	0,70
Fórmula 1 en Mónaco (el mayor)	1,084
Fórmula 1 en Monza (el menor)	0,7
Paracaídas	1,33
Perfil alar simétrico	0,05
Esfera	0,1

Figura 3-23: Coeficientes aerodinámicos de varios modelos

Fuente: (Del, Fredy y Aguirre 2009)

Un vehículo total de fórmula tiene un coeficiente de arrastre de 0,7, mientras que para un diseño basado en perfil alar el valor es de 0,05, con esos valores se comprueba que el análisis tiene mucha similitud a valores ya obtenidos, con lo cual se acepta para este ítem el modelo del diseño 3.

3.6.6. Elección del diseño a construir.

Una vez que se ha analizado cada uno de los diseños de los tres pontones con relación a la velocidad, presión, turbulencia, coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre, se ha diferencia que claramente el diseño 3 es el más óptimo y eficaz sin duda alguna, con lo que se prosigue a pasar a la fase de construcción.

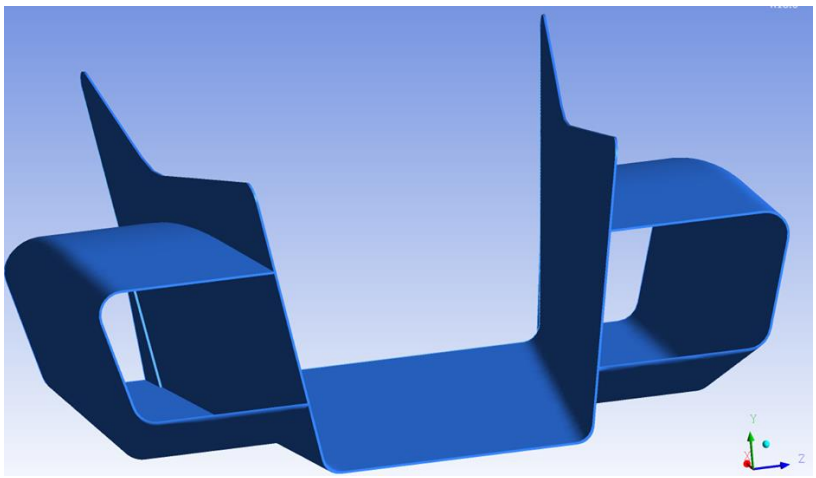


Figura 3-22: Pontón con características aerodinámicas eficientes

Fuente: Autores

3.7. Análisis estructural

En el análisis estático se calcula los efectos de cargas sobre la estructura de la pieza, se incluye cargas que varían en el tiempo, para obtener resultados exactos se importa valores de presión obtenidos del análisis aerodinámico con las presiones que se produce en las distintas caras del pontón, como se puede observar en la figura 3-24, mediante este proceso se prueba el material compuesto.

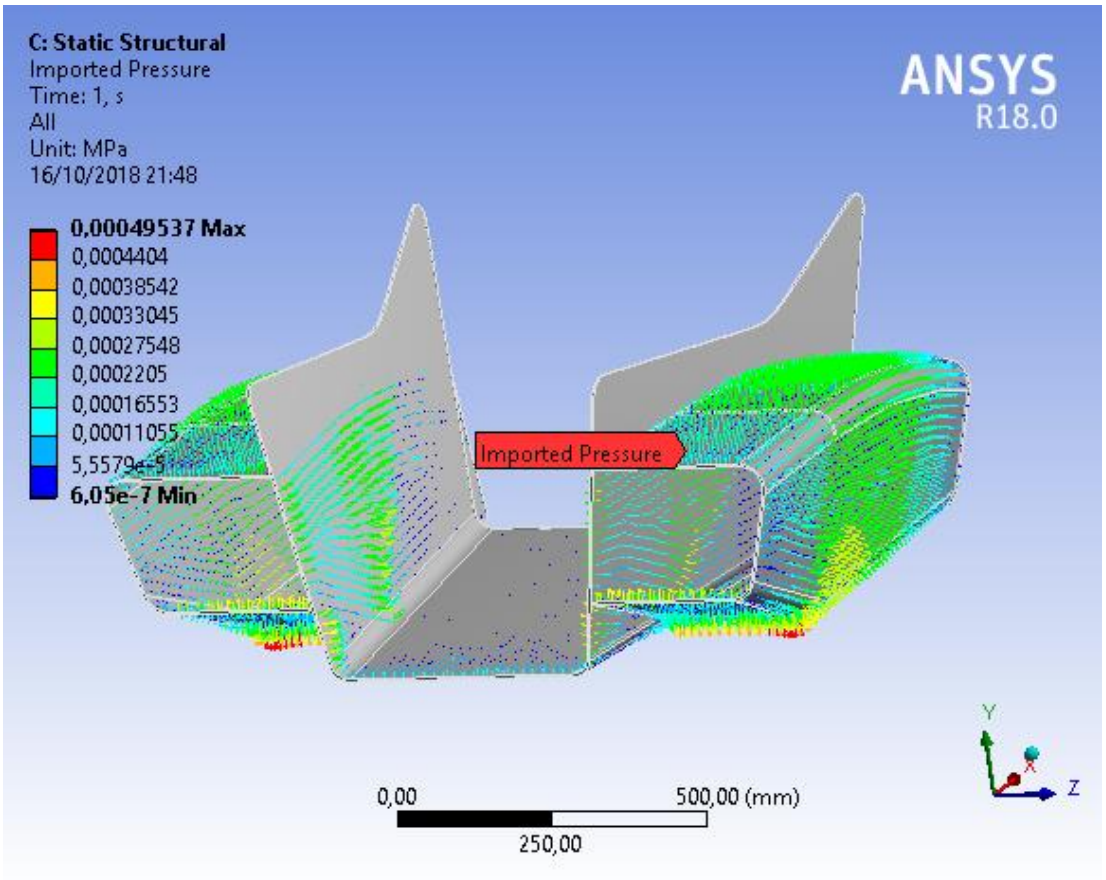
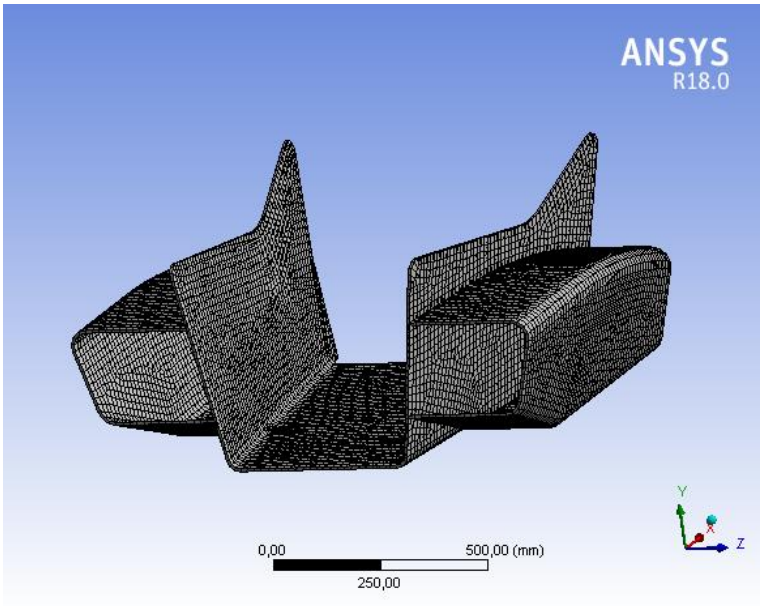


Figura 3-23:Importación de presiones de resultados aerodinámicos

***Fuente**: Autores*

Para garantizar los resultados obtenidos en el análisis, la calidad de mallado debe oscilar desde 0,2 a 1, se observa una calidad buena que garantiza que los resultados son confiables.



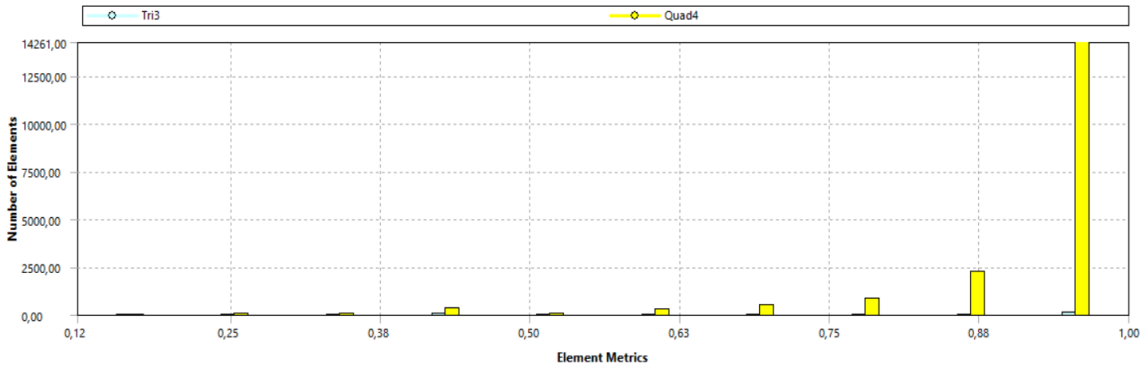


Figura 3-24: Mallado y calidad de mallado

***Fuente**: Autores*

Con los parámetros definidos para el análisis se observa las deformaciones que se producen en las distintas caras del pontón donde influye la presión, teniendo como resultado una deformación máxima en el material de 0,077013mm. Con resultados de la deformación máxima se comprueba si se produce alguna falla mecánica en el material compuesto mediante la determinación de un factor de seguridad.

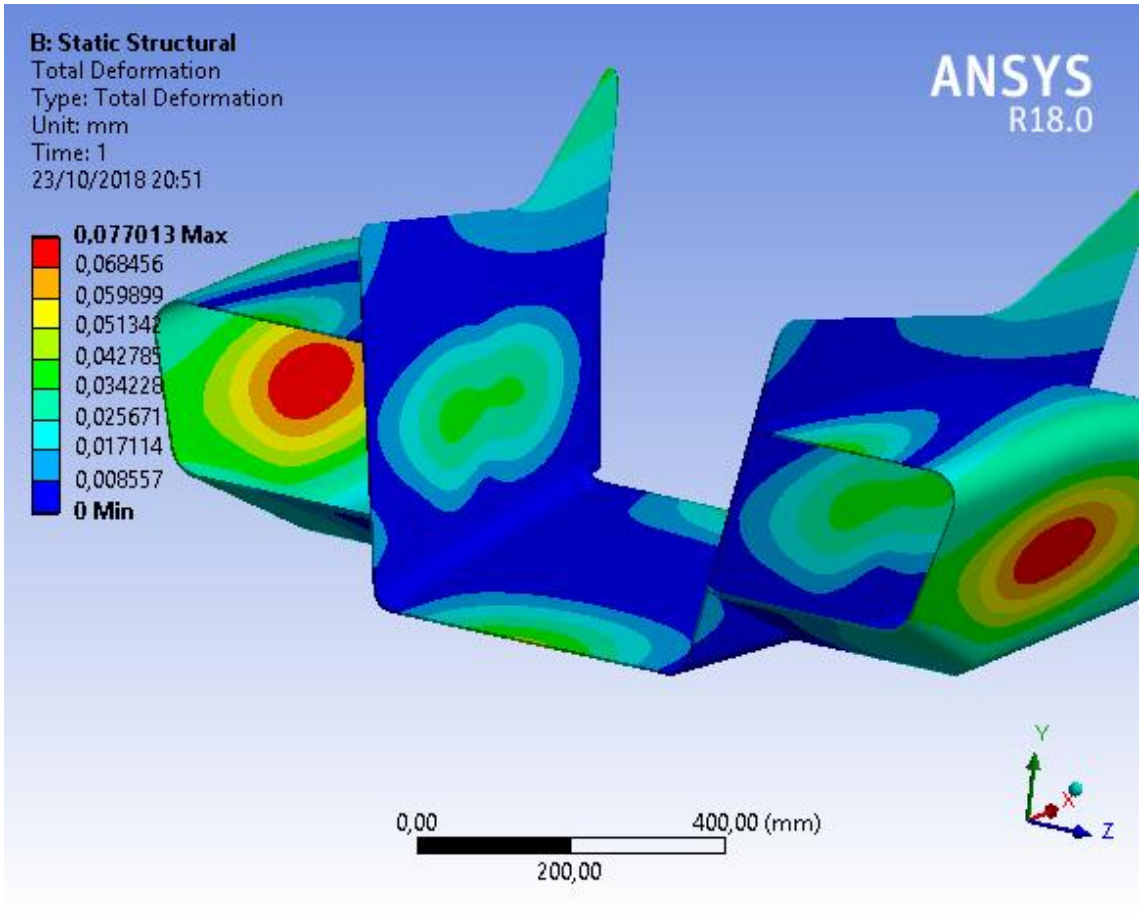


Figura 3-25: Deformación máxima del material en las superficies del pontón

***Fuente**: Autores*

Se observa que el material compuesto es completamente resistente y fiable, ya que se obtiene un factor de seguridad de 15, la razón de obtener un coeficiente elevando es por las presiones que se analizan en la superficie del pontón, ya que son bajas, sabiendo que el material para su fractura debe soportar una elevada carga.

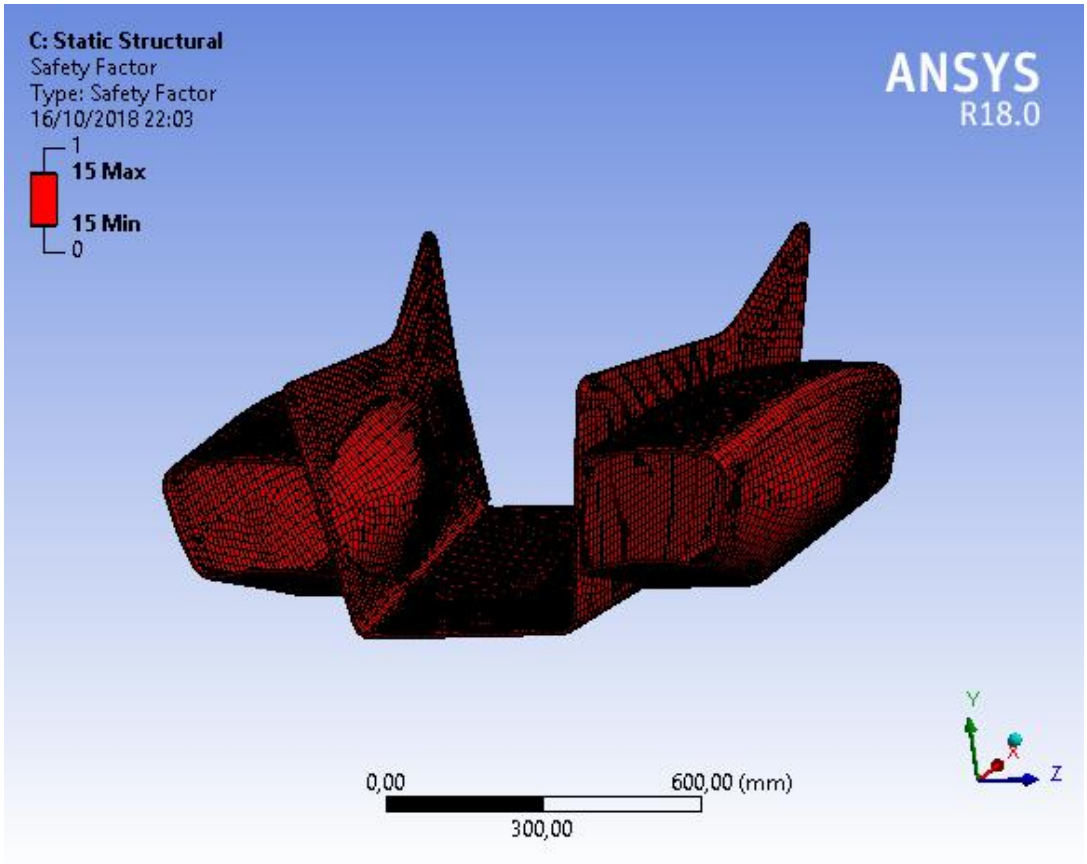


Figura 3-26: Coeficiente de seguridad

Fuente: Autores

Se concluye con el análisis estático que no se producirá falla en la superficie del pontón cuando esté sometida a presiones que afecte a la fracturar del material, gracias a las propiedades mecánicas que posee se producen pequeñas deformaciones.

3.8. Proceso de fabricación de los pontones

Ya que se verifica en software el diseño que cumpla con las mejores características, se prosigue a la construcción de la pieza, con la seguridad que su desenvolvimiento físico y aerodinámico es eficaz.

3.9. Consideraciones para el cambio de material.

Se tomar en cuenta que existen unos pontones ya fabricados anteriormente, los cuales tiene como material base la fibra de vidrio, y lo que se quiere es mejorar dicho diseño con el cambio de materia y forma, para lo cual se realiza los ensayos y las simulaciones en software pertinentes para estar seguros que la mejora sí es factible y aplicable. (Christian y Rosero 2015).

Para la construcción de los nuevos pontones se leige como material base la fibra de carbono, debido a las mejores prestaciones que dicha fibra brinda en comparación al prototipo anterior de fibra de vidrio.

3.9.1. Fibra de carbono vs fibra de vidrio.

- Construcción: para ambos casos la forma en que se realiza cualquier tipo de construcción, es la misma, lo único que varía es la resina con que se trabaja según sea la fibra, teniendo en cuenta que la resina utilizada para la fibra de carbono tiene un costo muy superior a la utilizada en la de vidrio. (Eduardo Medina Solves 2017)
- Peso: la fibra de carbono es significativamente más ligera en comparación a la fibra de vidrio, es por esto que se utiliza en la construcción de aviones, autopartes, barcos, etc.
- Resistencia: nadie ha dicho que la fibra de vidrio no es resistente, pero al comparar la resistencia de la fibra de vidrio con la fibra de carbono, claramente la fibra de carbono tiene una superioridad notable.(Eduardo Medina Solves 2017)
- Precio: los costos de producción y fabricación de la fibra de carbono son muy altos, por lo cual hace que su precio final sea igual elevado, si comparamos el precio de la fibra de vidrio con la fibra de carbono podríamos tener una relación en costo de 1:5.

3.10. Criterios para la selección de materiales.

3.10.1. Propiedades de los materiales.

Se asegura de que el material elegido sea el adecuado para soportar los esfuerzos a los que está sometido el producto final, o las condiciones de uso que le vamos a dar. (e-ducativa.catedu 2012)

3.10.2. Disponibilidad de los materiales.

Saber si existe la cantidad suficiente de un determinado material, de manera que la línea de producción no se pueda ver desabastecida en ningún momento.(e-ducativa.catedu 2012)

3.10.3. Coste de los materiales.

Al calcular el precio de un producto, el coste de material debe exceder de un determinado porcentaje para que su venta resulte competitiva. En el coste están incluidos todos los gastos

acumulados durante la prospección, localización, extracción, transporte, transformación y almacenaje del material.(e-ducativa.catedu 2012).

3.10.4. Calidad de los materiales.

Los investigadores desarrollan continuamente nuevos materiales para satisfacer las demandas y las necesidades que impone la sociedad, pero siempre con materiales con calidad suficiente para atender los requerimientos del mercado.(e-ducativa.catedu 2012)

3.11. Proceso de fabricación del material compuesto.

Según Derek Hull los materiales compuestos, se fabrican por procesos en molde abierto y en procesos en molde cerrado.

3.11.1. Estratificación manual con molde abierto.

La técnica manual de estratificación a molde abierto o "lay up", en sinopsis se basa en lo siguiente:
-Limpieza del molde o superficie y aplicación de los correspondientes lubricantes o agentes desmoldantes como ceras o película de alcohol polivinílico en solución.

-Aplicación de una primera capa de resina reactiva (pigmentada o no). Ésta asimismo puede ser tixotrópica.

-Cuando la resina alcance el estado de gelificación y se presente pegajosa al tacto, se aplican capas de fibras adaptándolas correctamente a la forma del molde o del modelo original si deseamos realizar un molde sobre éste. Obligatoriamente serán bien impregnadas de resina mediante brochas o rodillos metálicos, la cohesión entre resina y fibra habrá de ser total.
-Si se desea se puede aplicar en el interior o exterior, una fina película de resina reactiva para sellar.

-Tras el endurecimiento de la escultura totalmente, se extrae del molde; si se trata de un molde, las piezas se han de despegar del modelo a reproducir, con suma cautela. Con nuestro diseño sólido, solo queda repararlo, aplicar un agente de adhesión que facilite la adherencia de la pátina, y por último aplicar ésta (estas dos operaciones, únicamente si se diese el caso)(García Diez, 2010)

3.11.2. Ventajas de la estratificación manual.

La ventaja principal de esta técnica es que no es necesario un horno o algún tipo de mecanismo para el curado y secado, es tan simple que lo que se hace es secar al ambiente, obteniendo excelentes acabados, además se pueden crear grandes piezas con alto contenido en refuerzos.

3.12. Dimensionamiento y construcción de probetas para ensayos de tracción, flexión e impacto según normas.

3.12.1. Dimensionamiento.

El dimensionamiento para la construcción de cada una de las probetas para los diferentes tipos de ensayos se rige en base a la norma ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), donde indica las características que deben llevar cada probeta y el número mínimo de probetas para cada ensayo. En la tabla 3-10 se muestra especificaciones de las probetas con su tipo de ensayo:

Tabla 3-8: Normalización de probetas para ensayos de tracción, flexión e impacto

NORMA	TIPO DE ENSAYO	CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS	N° MINIMO DE PROBETAS
ASTM D3039	Tracción	Espesor de 3 mm, 25 mm de ancho y de 250 mm de largo	5
ASTM D7264	Flexión	El espesor estándar de la muestra es de 4 mm, y el ancho estándar de la muestra es de 13 mm, la longitud de la muestra siendo aproximadamente un 20% más larga que el intervalo de soporte.	5
ASTM D6110	Impacto	El espesor es de 3mm, con un ancho de 10 mm y un largo de 127mm (valores mínimos según norma)	5

Fuente: Autores

3.12.2. Construcción.

Para la construcción se utiliza el vidrio transparente como material para la matriz, teniendo en cuenta que después de varias pruebas, fue dicho material el que garantizó de mejor manera la construcción de las probetas, gracias a que ayuda a disminuir la pérdida de resina, soportando la

compresión con la que se trabaja y sobretodo permite ver las diferentes etapas de secado por las que pasa el material compuesto.

Además, se utiliza algodón para que absorba el exceso de resina y cinta doble faz para sellar por completo la matriz, para posteriormente aplicar el vacío con la bomba del mismo nombre.

Figura 3-27: Proceso de construcción de las probetas

Fuente: Autores.

3.13. Tiempo de curado de las probetas.

Según ficha técnica el tiempo de curado de este tipo de material compuesto a temperatura ambiente es de 16 h, pero para nuestro caso antes de realizar los ensayos destructivos y para una mayor seguridad, tomamos como tiempo de curando el lapso de 24 horas.

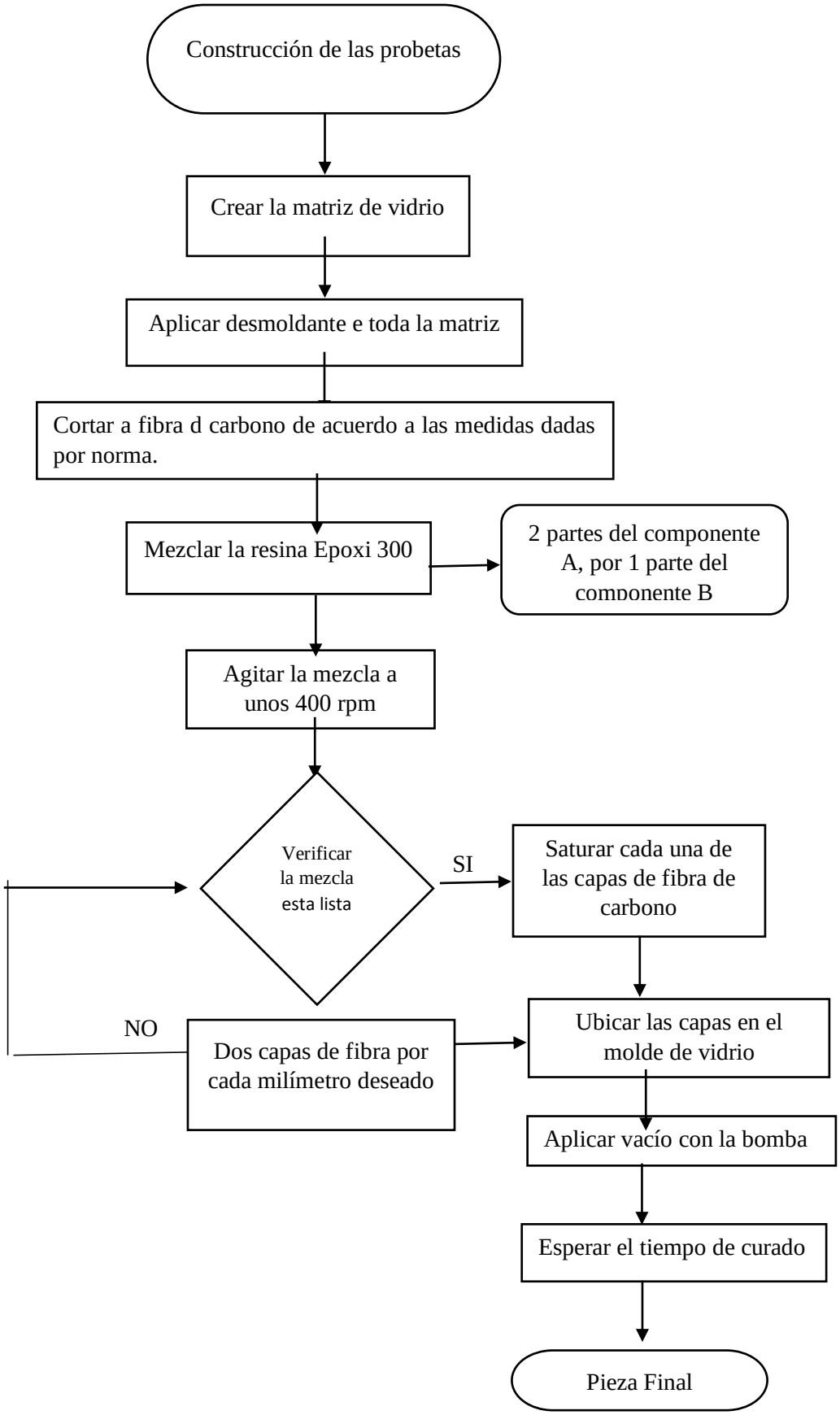
Figura 3-28: Probeta desmoldada después de 24 h

Fuente: Autores.

3.14. Proceso de construcción de las probetas para los diferentes tipos de ensayos (tracción, flexión e impacto)

Con un diagrama de procesos se establece la secuencia para la construcción de cada tipo de probeta de acuerdo al ensayo requerido y según la norma ASTM.

Nota: Después de todos los procesos se deduce que cada 2 capas de fibra de carbono saturada con resina epoxi 300 representa un grosor de aproximadamente 0,5 mm.


Construcción de las probetas
Crear la matriz de vidrio
Aplicar desmoldante e toda la matriz
Cortar a fibra d carbono de acuerdo a las medidas dadas por norma.
Mezclar la resina Epoxi 300
2 partes del componente A, por 1 parte del componente B
Agitar la mezcla a unos 400 rpm
Verificar la mezcla esta lista
SI
Saturar cada una de las capas de fibra de carbono
NO
Dos capas de fibra por cada milímetro deseado
Ubicar las capas en el molde de vidrio
Aplicar vacío con la bomba
Esperar el tiempo de curado
Pieza Final

3.14.1. Construcción de las probetas para el ensayo de tracción.

Se construye un total de 8 probetas destinadas para dicho ensayo, con las medidas indicadas anteriormente según la norma ASTM DD3039, se utiliza 6 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B, después de una selección rigurosa se escoge las 6 mejores muestras, tomando en cuenta que tengan el mejor acabado y uniformidad en sus medidas con respecto al grupo.

Del grupo de 6 muestras, debemos acotar que 5 (número mínimo por norma) están destinadas directamente para el ensayo, mientras que la restante tiene como objetivo el enceramiento de la máquina de ensayos universal.

Par dicho ensayo se pega lija a los extremos con la finalidad de mejorar el agarre de la máquina para optimizar el ensayo.

Figura 3-29: Probeta lista para ensayo a *tracción.*

Fuente: Autores.

3.14.2. Construcción de las probetas para el ensayo de flexión.

Para las probetas destinadas para el ensayo de flexión se sigue la norma ASTM D7264, especificando las medidas dadas, siguiendo el proceso descrito anteriormente.
En este caso se elaborarán 8 probetas, utilizando 8 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B de las cuales después de pasar por un proceso de calidad corto, se eligen 6 probetas, teniendo en cuenta la uniformidad de las 3 medidas (ancho, largo, espesor), dejando siempre una probeta para el enceramiento de la máquina y los 5 restantes destinadas para el ensayo en su totalidad.

Figura 3-30: Probeta lista para ensayo de flexión.

Fuente: Autores

3.14.3. Construcción de las probetas para el ensayo de impacto.

Las probetas dirigidas para el ensayo de impacto se fabrican en base a la norma ASTM D6110, se considera un espesor de 3mm, teniendo en cuenta que es el espesor deseado para la fabricación del prototipo.

Se construyen 8 probetas, con un total de 6 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B con la misma finalidad del caso anterior, descartar 2 probetas que no estén dentro de los límites de calidad, y dejando los 6 restantes para el enceramiento y el ensayo en sí en la máquina de ensayo de impacto Charpy.

Figura 3-31: Probeta lista para el ensayo de impacto.

Fuente: Autores

3.15. Ensayos en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.

3.15.1. Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

El Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero contribuye con la política de desarrollo industrial del país, a través de la asociatividad y desarrollo de las Mipymes carroceras. Esto generara encadenamientos productivos, para promover el empleo y la mano de obra de calidad; incorporar, desagregar, adaptar y asimilar nuevas tecnologías e impulsar una producción más limpia y responsable con el medio ambiente. (Centro Carrocero Tungurahua 2018)

Figura 3-32: Estudiantes de la ESPOCH y personal del CPMC.

Fuente: Autores

3.15.1.1. Laboratorio de resistencia de materiales

El laboratorio de resistencia cuenta con un equipamiento de última tecnología y se especializa en la caracterización y/o verificación de propiedades mecánicas para:

- Cumplimiento de la conformidad del producto
- Aseguramiento de la calidad
- Apoyo a la industria para la mejora de sus procesos de fabricación.

3.15.1.2. Servicios del Laboratorio de resistencia de materiales

Tabla 3-9: Servicios del Laboratorio de resistencia de materiales

Producto	**Especificación**
Ensayo de tracción en materiales metálicos hasta 1500 KN	Informe de ensayo de tracción para materiales metálicos.
Ensayo de tracción	Informe de ensayo de tracción para materiales poliméricos, compuestos, adhesivos, textiles, cerámicos y metales ligeros.
Ensayo de impacto en materiales metálicos	Informe de ensayo de impacto charpy de materiales metálicos. (450 J)
Ensayo de impacto.	Informe de ensayo de impacto de materiales poliméricos, compuestos, cerámicas. (Rango de 1,5 J a 40 J).
Ensayo de doblado en materiales metálicos	Informe de ensayo de doblado para el cumplimiento de las normas y especificaciones.
Ensayo de flexión de materiales poliméricos	Informe de flexión de materiales plásticos, compuestos cerámicos (50KN) y materiales metálicos hasta 1500KN.

Fuente: Autores

3.15.1.3. Equipos del Laboratorio de resistencia de materiales

Tabla 3-10: Equipos del Laboratorio de resistencia de materiales

Nombre	**Especificación**	**Fotografía**
Metrotec STH-1500	Máquina de Ensayos Universal 1500 KN para materiales metálicos.	

Metrotec Serie MTE50	Máquina de Ensayos Universales de hasta 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos y metales ligeros.	
Metrotec PIC450	Máquina para ensayos de impacto de materiales metálicos hasta 450J.	
Charpy IC251A	Máquina para impacto Charpy e Izod de materiales no metálicos.	

Fuente: Autores

3.15.2. *Ensayos a tracción del material compuesto.*

Después de fabricar las probetas con las normas establecidas, se realizan los ensayos destructivos con la finalidad de obtener las propiedades físicas y mecánicas del material ensayado, y de este modo escoger los mejores parámetros para la construcción de nuestro elemento, para lo cual se toma en consideración los siguientes conceptos:

- Esfuerzo máximo. Es la cantidad máxima de esfuerzo que un material, en nuestro que la probeta puede soportar antes de deformarse, incluso con la aplicación de fuerza menores,

- Módulo de elasticidad. Es la razón entre el esfuerzo máximo y una elongación. Dicho modulo indica la rigidez de un material, es decir mientras mayor es su módulo de elasticidad mayo el material es más rígido.
-
- Deformación. Es el cambio de dimensiones de un miembro estructural, cuando este se encuentra sometido a cargas extremas.

Cada uno de los ítems mostrados en el apartado 3.7.2., ayudarán a entender el comportamiento del material sometido al ensayo de tracción.

A continuación, en la tabla 4.4 se muestra los detalles acerca del ensayo de tracción, realizados en base a la normativa ASTM D3039, obteniendo los datos necesarios para obtener las propiedades mecánicas del material.

Tabla 3-11: Datos obtenidos del ensayo del material compuesto a tracción

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Material compuesto por 6 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B			
Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.			
Máquina:	Máquina Universal Metro Test 50 KN		
Tipo de Ensayo:	Tracción	**Norma:**	ASTM D3039 - 2015
Velocidad de ensayo	$10\frac{mm}{min}$	**Tipo de Ensayo**	Cuantitativo
Tipo de probeta	Plana	**Precarga**	0 N

Estratificación:	Manual	**Proceso**	Prensado y secado al vacío
Dimensión de Probeta (mm)	Espesor de 3 mm, 25 mm de ancho y de 250 mm de largo	**Número de Probetas**	5
Identificación del grupo	180430132120180514-ETC 01	**Responsable:**	Ing. Esteban López MEng.

Datos y resultados

#	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (Calculado) [MPa]	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla
1	16	83	19197,18	303,54	6097,58	4,98	LIT
2	16	83	18043,8	311,98	6476,33	4,82	LIT
3	16	83	15355,22	254,62	5084,30	5.01	LIT
4	16	83	16988,25	289,99	6030,91	4,81	LIT
5	16	83	18283,63	325,33	6811,19	4,78	AGM
Promedio $\bar{X}$			17573,62	297,09	6100,06	4,88	
Desviación estándar S_{n-1}			1468,42	26,99	648,81	0,11	
Coeficiente de variación CV			8,36	9,09	10,64	2,19	

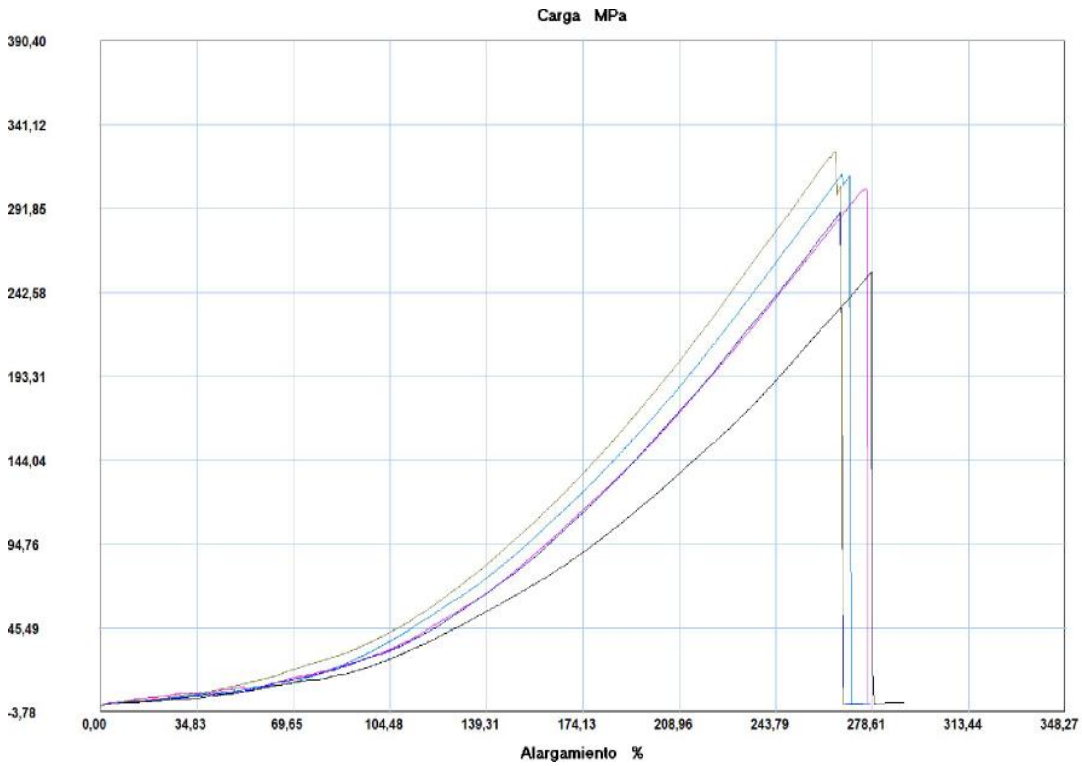
Fuente: Autores

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

1er. carácter		2do. carácter		3er.carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

- A continuación, se presenta un diagrama del comportamiento de cada una de las probetas del esfuerzo máximo (σ) vs el alargamiento.



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	19197,18	298,20	19141,96	303,54	4,72	302,66
2	18043,80	173,56	18043,80	311,98	3,00	311,98
3	15355,22	153,05	15355,22	254,62	2,54	254,62
4	16988,25	175,14	16988,25	289,99	2,99	289,99
5	18283,63	187,76	18283,63	325,33	3,34	325,33
Media	17573,616	197,542	17562,572	297,092	3,317	296,917
Desv. Std	1468,425	57,629	1453,291	26,994	0,832	26,944
Coef. V.	0,084	0,292	0,083	0,091	0,251	0,091
+3 Sigma	21978,891	370,428	21922,445	378,073	5,813	377,750

Grafico 3-11: diagrama del comportamiento de cada una de las probetas del esfuerzo máximo (σ) vs el alargamiento.

Fuente: Autores

Debido a la uniformidad que presentan las curvas de la figura 35-5, a más que se tienen un comportamiento igual, se determina que el proceso de fabricado está en lo correcto, teniendo un esfuerzo de tracción aproximado de 300 MPa, siendo similar a un acero estructural.

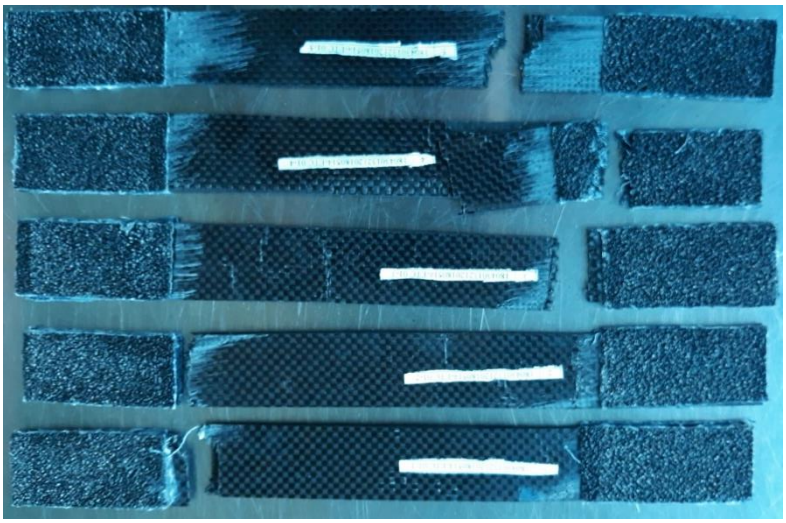


Figura 3-33: Probetas sujetas a ensayo de tracción.

Fuente: Autores.

3.15.3. *Ensayos a flexión del material compuesto.*

Una vez ya fabricadas las probetas destinadas para el ensayo a flexión según norma ASTM D7263 donde el espesor estándar de la muestra es de 4 mm, el ancho estándar es de 13 mm y la longitud de la muestra es aproximadamente un 20% más larga que el intervalo del soporte.

Cabe acotar que, para este tipo de ensayos, la norma pide obtener un espesor promedio, el cual debe ser multiplicado por 32 para tener la distancia entre apoyos, que para nuestro caso fue 108 mm, dato muy importante porque en función del mismo se calcula el módulo de flexión.

A continuación, se detalla algunos conceptos necesarios que interviene en el ensayo:

- Esfuerzo máximo de flexión. Dicho esfuerzo se presenta en cualquier tipo de elemento estructural, el cual tiende a sufrir una deformación en dirección perpendicular a su eje longitudinal. El esfuerzo que provoca le flexión es llamado momento flector.

- Módulo de flexión. También denominado modulo elástico de flexión, es la relación del esfuerzo máximo que ocurre en la fibra con la deformación máxima, dentro del límite elástico del diagrama carga-deformación obtenido en un ensayo de flexión

En la tabla 4.5 se especifica los resultados obtenidos del ensayo a flexión del material, donde se están los datos mecánicos y el tipo de falla que ocurre en cada una de las probetas.

Tabla 3-12: Datos obtenidos del ensayo del material compuesto a flexión.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Material compuesto por 8 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B			
Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.			
Máquina:	Máquina Universal Metro Test 50 KN		
Tipo de Ensayo:	Flexión	**Norma:**	ASTM D7264 - 2015
Velocidad de ensayo	$10\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	**Tipo de Ensayo**	Cuantitativo
Tipo de probeta	Plana	**Precarga**	0 N
Estratificación:	Manual	**Proceso**	Prensado y secado al vacío
Dimensión de Probeta (mm)	Espesor de 4 mm, ancho de 13 mm, longitud de la aproximadamente un 20% más larga que el intervalo de soporte.	**Número de Probetas**	5
Observaciones	Ninguna	**Distancia entre apoyos (mm)**	108
Identificación del grupo	180430132120180514-ETC 01	**Responsable:**	Ing. Esteban López MEng.

Datos y resultados

#	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Fuerza Máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión [MPa]	Módulo de elasticidad secante de flexión (MPa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla
1	16	78	328,18	9,254	300,86	18426,45	1,63	OAB
2	16	78	326,61	9,729	340,64	19901,97	1,71	OAB
3	16	78	299,78	8,656	316,76	21047,19	1,51	OAB
4	16	78	336,07	10,182	355,66	20270,25	1,75	AOB
5	16	78	233,45	9,070	345,63	22179.53	1,56	OAB
Promedio $\bar{X}$			322,82	9,38	331,91	20365,08	1,63	
Desviación estándar S_{n-1}			13,69	0,59	22,48	1390,98	0,10	
Coeficiente de variación CV			4,23	6,31	6,77	6,83	6,35	

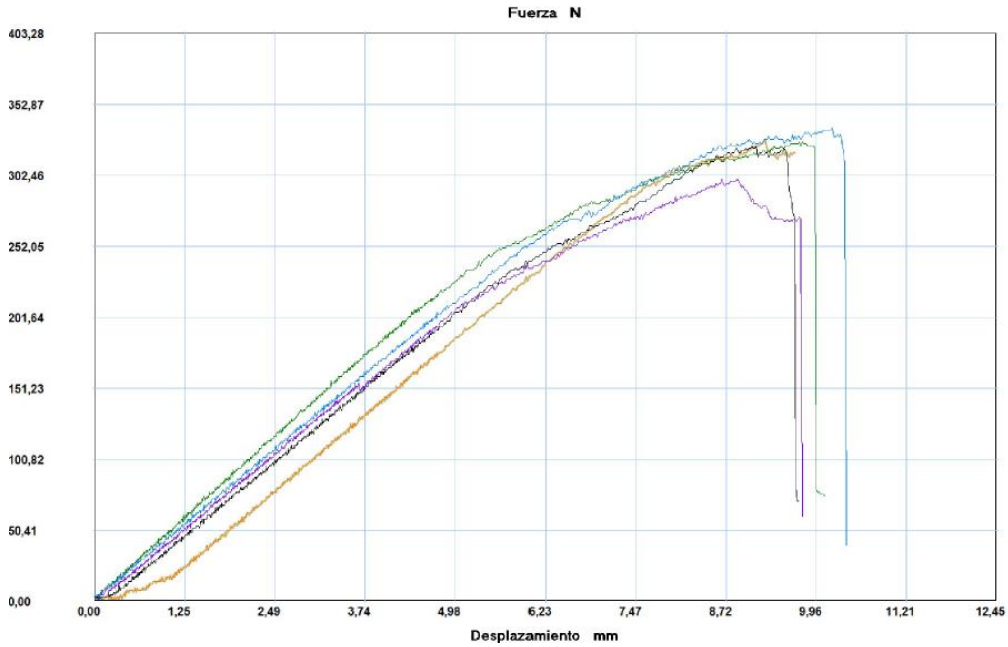
Fuente: Autores.

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

1er. carácter		2do. carácter		3er.carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
O	Otros	I	Entre la caga y el punto de apoyo	V	Varios

- A continuación, se presenta un diagrama del comportamiento de cada una de las probetas de la fuerza máxima soportada (F) vs el desplazamiento (x).



Probeta	FMax N
1	328,18
2	326,61
3	299,78
4	336,07
5	323,45
Media	322,818
Desv. Std	13,692
Coef. V.	0,042
+3 Sigma	363,894

Grafico 3-12: Diagrama del comportamiento de cada una de las probetas de la fuerza máxima soportada (F) vs el desplazamiento (x).

Fuente: Autores

Gracias a la homogeneidad tanto de resultados como en la representación gráfica de las curvas se entiende que la fabricación fu realizada de buena forma, y al no existir desfase garantiza que la construcción en general tiene una configuración estable.

Figura 3-34: Probetas sujetas a ensayo de flexión.

Fuente: Autores.

3.15.4. *Ensayos de impacto del material compuesto.*

Después de fabricar las probetas para realizar el ensayo de impacto según norma ASTM D 6110, se realizar dicho estudio, el cual tiene como principal finalidad medir la cantidad de energía que puede absorber el material con el que se realiza.

La norma ASTM D6110 define el método utilizado para determinar la resistencia a la rotura de plásticos mediante un impacto en una configuración de flexión a tres puntos utilizando un péndulo equipado con un martillo de dimensiones apropiadas. Este ensayo es normalmente no instrumentalizado y es utilizado para determinar la energía necesaria para romper una muestra de dimensiones normalizadas. Existen diferentes parámetros especificados según el tipo de material a ensayar, así como del tipo de entalla practicado. Siendo similar a la norma ISO 179-1 (determinación de propiedades de impacto Charpy Método no instrumentado) la definición del ensayo es significativamente diferente y no son extrapolables.(Instron C. 2015)
En la tabla 3-15 se muestran los datos obtenidos y las propiedades con las que se llevó a cabo el ensayo. Todo esto según la norma ASTM D 6110.

Tabla 3-13: Datos obtenidos del ensayo del material compuesto a impacto.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
Material compuesto por 4 capas de fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B			
Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua.			
Máquina:	Máquina de ensayo de impacto Charpy		
Tipo de Ensayo:	Impacto	**Norma:**	ASTM D6110
Capacidad del péndulo (J)	5.40	**Tipo de Ensayo**	Cuantitativo
Tipo de probeta	Plana	**Precarga**	0 N
Estratificación:	Manual	**Proceso**	Prensado y secado al vacío
Dimensión de Probeta (mm)	El espesor es de 3mm, con un ancho de 10 mm y un largo de 127mm	**Número de Probetas**	5
Horas de acondicionamiento	No aplica	**Distancia entre yunques (mm)**	101,6
Identificación del grupo	180430132120180514-EIC 01	**Responsable:**	Ing. Esteban López MEng.

Datos y resultados

#	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Espesor debajo de la muesca (mm)	Energía de ruptura (J)	Resistencia al impacto (J/m)	Resistencia al impacto (KJ/m)
1	17	62	10,54	2,84	1000,00	94,877
2	17	62	10,98	1,01	340,07	30,972
3	17	62	10,65	0,87	291,95	27,413
4	17	62	10,50	1,23	408,64	38,918
5	17	62	11,00	1,1	391,46	35,587
Promedio $\bar{X}$				1,41	486,42	45,55
Desviación estándar S_{n-1}				0,81	290,72	27,92
Coeficiente de variación CV				57,45	59,77	61,29

Fuente: Autores

- En la figura 38-4, se esquematiza la energía de ruptura necesaria en cada una de las probetas.

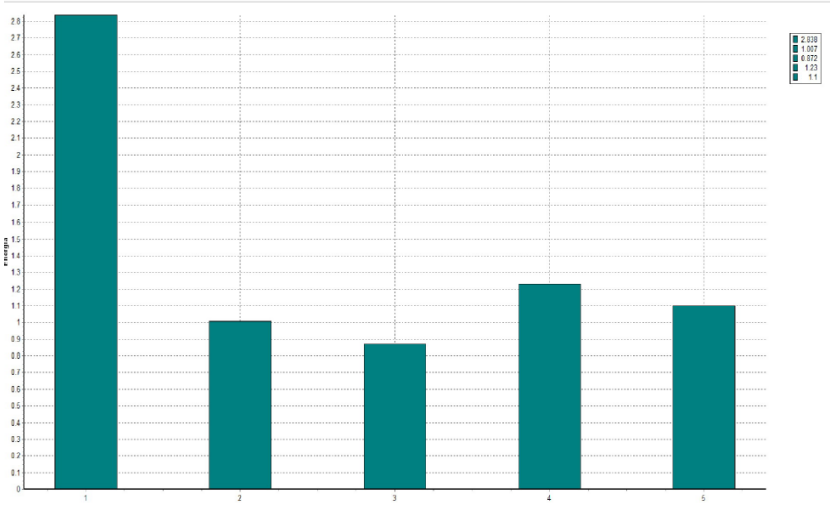


Grafico 3-13: Diagrama del comportamiento de cada una de las probetas a impacto.

Fuente: Autores

Para este ensayo se recomienda tener un grupo mayor a 5 probetas, debido a que se presenta un resultado que sale del rango, sin embargo, el ensayo se acepta puesto que en su mayoría tienen datos uniformes, lo que aplica para disco ensayo.

3.16. Proceso de construcción de los pontones.

Para construir los pontones se lleva a cabo una serie de procesos, los cuales se detallan a continuación, con la finalidad de que en un futuro sirva para poder realizarse un rediseño y facilite la construcción del mismo.

3.16.1. Seccionamiento en software del pontón con un intervalo de 10 cm.

Una vez que se ha seleccionado el modelo adecuado después de realizar las diferentes pruebas aerodinámicas y teniendo en cuenta la normativa que rige en el reglamento de la formula SAE 2017-2018, gracias a las facilidades que brinda Solidwork, se realiza un seccionamiento con un intervalo de 10 cm, con la finalidad de obtener nuevas vistas frontales, las mismas que se representan en láminas 2D, de este modo se capta detalles minuciosos, así como formas aerodinámicas.

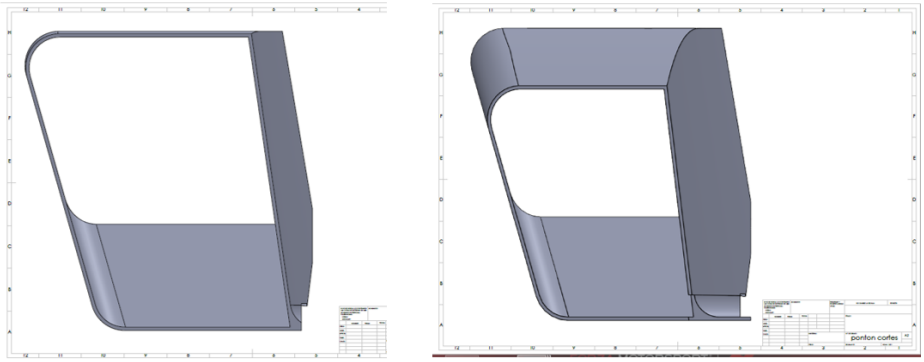


Figura 3-35: Vista del seccionamiento realizado a 50 y 90 cm respectivamente del pontón

Fuente: Autores

3.16.2. Impresión a escala real de cada una de las secciones.

Una vez que se ha realizado cada uno de los cortes por sección en el software y se ha realizado láminas 2D de todas, se imprime en formatos A1 y a una escala real, dichas secciones son cortadas y pegadas con goma en plywood, el cual es un tipo de madera contrachapado y muy suave para trabajar.

Figura 3-36: Corte de Plywood

Fuente: Autores.

3.16.3. Fabricación del esquema del pontón.

- Una vez que las impresiones de las secciones se hayan secado, lo que se hace es recortarlas con una sierra caladora por los bordes; el uso de la cierra caladora es indispensable para poder recortar en una forma precisa las cuervas del modelo.

Figura 3-37: Diseño de vistas seccionadas en plywood

Fuente: Autores

- Aunque la cierra caladora nos da un corte más preciso, para evitar fallos en las curvas, se optó por lijar los bordes hasta tener un mejor acabado.

Figura 3-38: Refinado de los cortes con lija.

Fuente: Autores.

- Ahora que todas las secciones tienen un buen acabado final, se ubicar los cortes seccionados uno a continuación de otro con una distancia de 10 cm en forma de un tórax humano, con la finalidad de facilitar la construcción del molde, para lo cual se imprime la vista lateral del

pontón para tener una referencia y de la misma manera que en el caso anterior, dicha vista se le pega en una tabla triplex, generando de esta forma una base.

Figura 3-39: Ensamble en forma de tórax de los cortes seccionados del pontón

Fuente: Autores

- Ya que se hayan ubicado todas las secciones en su orden y posición correcta, tomando en cuenta que deben estar muy bien clavadas y posicionadas, puesto que es la matriz del molde, se embala con cinta para darle la forma final.

Figura 3-40: Matriz del molde

Fuente: Autores.

3.16.4. Fabricación del molde en fibra de vidrio.

La fundición del molde se lleva a cabo con fibra de vidrio Roving la cual es saturada con resina poliéster más un catalizador; dicho tipo de fibra es cocida y bidireccional, muy manejable que además ofrece un excelente acabado y una gran resistencia y dureza.

3.16.4.1. Preparación de los materiales para la fundición.

- Fibra de vidrio. Debido a que es un material con tendencia a deshilarse en el momento de cortar, lo que se hace es poner cinta adhesiva y posteriormente cortar por la mitad de esta,así se evita que se deshilen ambas partes.

Figura 3-41: Corte de fibra de vidrio Roving.

Fuente: Autores.

- Desmoldante. Después de varias pruebas se encuentra que el betún para calzado cumple con las características perfectas para trabajar como desmoldante y se aplica sobre la matriz del molde, tratando de cubrir en su totalidad.

Figura 3-42: Aplicación de desmoldante.

Fuente: Autores

- Resina poliéster. Después se prepara la resina poliéster para saturar las capas de fibra de vidrio, este tipo de resina se mezcla con un catalizador que cumple la función de secante, el cual se aplica según las condiciones climatológicas y de acuerdo al tiempo de secado requerido.

Figura 3-43: Preparación de resina poliéster

Fuente: Autores.

3.16.4.2. Fundición del molde en fibra de vidrio Roving.

Para fundir el molde en fibra de vidrio, el uso de guantes y mascarilla es indispensable por la toxicidad de la resina, para nuestro caso se utiliza 3 capas de fibra, las cuales son saturadas en su totalidad y en el momento de su colocación, estiradas para mejorar el acabado.

Figura 3-44: Saturado de la fibra de carbono con resina poliéster más catalizador.

Fuente: Autores

Una vez que haya secado y curado el molde, para lo cual necesitaremos un aproximado de 36 horas, se prosigue a desmoldarlo, teniendo el cuidado respectivo de no romperlo y se corrigen las fallas con macilla.

Figura 3-45: Molde final en fibra de vidrio.

Fuente: Autores.

3.16.5. Fabricación en fibra de carbono.

Ahora que el molde está listo y tiene las mismas características diseñadas que en el software, llega el momento de realizar la función final con la fibra de carbono bidireccional y resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B, teniendo el mayor de los cuidados debido a la toxicidad de los componentes a utilizar, para lo cual se recomienda utilizar un mandil, y guantes de manejo.

3.16.5.1. Corte de fibra de carbono bidireccional.

Debido al costo que tiene la fibra de carbono, es necesario intentar disminuir lo más posible que sea su desperdicio, el mismo que se da en el momento del corte, debido a que se deshilacha, para lo cual se opta por crear un molde en papel periódico de las capas a fundir, con el fin de tener una referencia para el corte, posteriormente se realizar un dibujo con cinta adhesiva, teniendo así el

patrón de corte y al mismo tiempo evitando el deshilado tanto del patrón cortado como del sobrante de fibra.

Figura 3-46: Corte de fibra de carbono bidireccional.

Fuente: Autores

3.16.5.2. Preparado del molde para fundición.

El molde es tan importante en la parte de la fundición final, debido a que sobre este recae la responsabilidad para tener un buen acabado final, si el molde falla la fundición final de la mismo forma tendrá defectos.

Se prosigue a evitar que el molde se funda con la fibra de carbono, por lo que es necesaria la aplicación de una capa desmoldante, para nuestro proceso se utiliza betún de color café de zapatos, gracias a que contiene cera de carnauba, aceite mineral y vaselina, componentes perfectos para evitar que se pegue la fibra de carbono al molde.

Figura 3-47: Aplicación de desmoldante a matriz final.

Fuente: Autores.

3.16.5.3. Resina epoxi 65% (pofix300 tipo A) más catalizador 35% tipo B

El preparado de la resina Epoxi, es uno de los procesos en el que se debe tener mayor cuidado, ya que una mezcal desequilibrada o equivocada de los componentes, puede generar errores en la fundición, como eliminar propiedades de dureza o rigidez.

Siguiendo la ficha técnica, el procedimiento adecuando es mezclar dos partes del componente A con una parte de componente B, para lo cual se utiliza una balanza digital con un sistema de medida en gramos, para posteriormente batir a una velocidad de 400 rpm.

Figura 3-48: Preparación de resina Epoxi 300.

Fuente: Autores.

3.16.5.4. Saturado de las capas de fibra de carbono.

Al decir saturar se refiere a llenar o impregnar un elemento hasta el límite de su capacidad con otro componente, para nuestro caso saturaremos la fibra de carbono con resina epoxi, para lo cual se usa una paleta de construcción.

Dicho proceso de saturado consiste en empapar la fibra de carbono con la resina epoxi, hasta el punto que sus tejidos internos estén llenos de resina en un 100 %, objetivo que se logra aplastando la fibra en la resina con la paleta de construcción.

Figura 3-49: Saturado de fibra de carbono por capas

Fuente: Autores.

3.16.5.5. *Fundición final en fibra de carbono.*

Una vez listas las capas de fibra de carbono saturadas, se prosigue a colocarlas en el molde con el mayor cuidado posible, de esto dependerá el acabado de la pieza final y que cumpla con el diseño en software.

Para nuestros pontones su usa un total de 5 capas de fibra de carbono, para obtener un espesor aproximado de 3 mm, gracias a los resultados obtenidos con dicho espesor en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

Figura 3-50: Colocación de capas de fibra de carbono en el molde.

Fuente: Autores

3.16.5.6. Curado final.

El curado se realiza a temperatura ambiente, en donde las condiciones climatológicas influyen mucho en su tiempo de secado, se habla que a una temperatura promedio de 20 °C en Riobamba se tiene un tiempo de secado de 5 a 6 horas, pero por razones de seguridad se deja secar cada molde un tiempo de 2 horas.

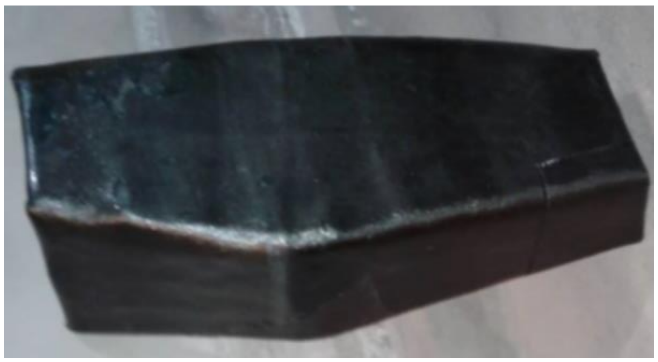


Figura 3-51: Curado del pontón.

Fuente: Autores.

3.16.5.7. Pulido y recorte de contornos defectuosos.

Gracias a que se deja una tolerancia aproximada de 2 cm en los contornos por posibles fallas, ahora se puede obtener un mejor acabado, puesto que se recorta el exceso y pequeñas fallas, mejorando así el acabado, para todo esto se utiliza un nivel de construcción para asegurar que el diseño sea lo más exacto posible.

Figura 3-52: Pulido y corte de contornos defectuosos

Fuente: Autores.

Figura 3-53: Nivelado de bordes

Fuente: Autores.

3.16.6. *Proceso de pintura.*

Para empezar con el proceso de pintura se descontamina en su totalidad cada uno de los pontones, lijando imperfecciones y evitando el polvo para que la pintura que servirá como base se adhiera de la mejor forma.

Se elige el color gris como color de fondo, la preparación de la pintura debe ser equilibrada para evitar inconvenientes en la adherencia, es decir ni muy diluida ni espesa.
La durabilidad de la pintura se basa en la cantidad de capas que se da, para esto se utiliza una pistola de aire.

Figura 3-51: Proceso de pintura

Fuente: Autores.

3.16.6.1. Acabado final.

Para el acabado final se utiliza el color blanco, cuyo proceso se basa en dejar un efecto espejo y sumamente liso, debido a que es una parte aerodinámica, el acabado tienen que ser casi perfecto para que el paso de aire no genere turbulencias.

Se usa pintura de poliuretano, la misma que es utilizada en la industria automotriz como acabado final para los vehículos.

Figura 3-52: Acabado final

Fuente: Autores.

3.17. Anclaje de los pontones al chasis.

Para los anclajes de los pontones se toma en cuenta a normativa de la Formula SAE 2017-2018, que estables parámetros específicos para los anclajes, así pues, dichos anclajes no deben intersecar con las salientes de los sistemas de suspensión, dirección o tren propulsor, además debe tener un fácil montaje y desmontaje, todo esto se ayudar con la suela de tuerca traseras.
Los puntos de anclaje no deben sobresalir del chasis para evitar riesgos a las personas que transportan el vehículo y más aún al piloto.

Partiendo de las consideraciones anteriores, se sueldan 6 platinas de 4 x 2 cm, con espesor de 2 mm al chasis, dichas platinas a su vez llevan soldadas tuercas tipo M8, facilitando la sujeción del pontón. Para la sujeción del pontón se utiliza pernos Allen milimétricos con cabeza redonda tipo G8. En la parte de abajo se utiliza pernos auto pasantes fijados directamente al chasis.

Nota: El anclaje de la carrocería debe ser seguro, ya que la caída de cualquier tipo de parte durante la carrera tiene como sanción la eliminación inmediata de la misma.

Figura 3-53: Anclaje de los pontones al chasis.

Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

4. Análisis de Costos.

El principal objetivo del análisis de costos, es dar a conocer la inversión y los materiales usados en la construcción de los pontones de la fórmula SAE, para obtener un valor total. Recalcar que este costo se puede dar como valor agregado la mano de obra que fue en un 100% nuestra, señalar que el tiempo total de fabricación fue de 3 semanas, debido a que todos los procesos se realizaron a aire libre y no siempre las condiciones climatológicas son las mismas, tiempo que se podría reducir con un horno de secado controlado.

4.1. Costos directos.

Los costos directos son aquellos que tienen una relación directa a la producción o fabricación de un objeto o servicio, es por esto que mientras mayor sea el costo de un servicio o producción es probable que sea mayor el precio de venta. Para detallar los costos directos se toma en cuenta la materia prima, equipos y mano de obra. En la tabla 8 se detalla los costos de los materiales utilizados

Tabla 4-1: Lista de Materiales y Costos

Descripción	Cantidad	Costo [USD]	Costo Total[USD]
Plancha plywood	2	12	24
Discos de corte para madera	2	3,5	7
Discos de corte para acero	2	4	8
Pintura blanca [L]	1	10	10
Laca[L]	1	5	5
Impresiones	15	2	30
Cinta Adhesiva	5	0,80	4
Pegamento [L]	2	1,25	2,50
Desmoldante (Betún)	2	2,50	5
Cinta de Embalaje	3	1,30	3,90
Guantes de manejo (caja)	1	9	9
Lijas	10	0,60	6
Brochas	4	1,5	6
Balanza Digital	1	17	17
Paleta de construcción	1	6	6

Mascarillas	10	0,30	3
Tijera Industrial	1	6	6
Espátulas	3	2,50	7,50
Plástico [m^2]	4	1,50	6
Tinner [L]	5	1,25	6,25
Pernos	10	0,60	6
Masilla Roja	1	7	7
Broca	1	1,20	1,20
Fibra de Vidrio Roving [m^2]	6	7	42
Resina poliéster [Kg]	6	5	30
Fibra de carbono [m^2]	12	43	516
Resina Epofix 300 [Kg]	9	22	198
TOTAL			972,35

Fuente: Autores

Tabla 4-2: Lista de Equipos y Costos

Descripción	Costo por hora	Hora-equipos	Costo [USD]
Cierra Caladora	0,50	10	5
Pistola para pintar	1,00	10	10
Amoladora		40	40
Total			55

Fuente: Autores

Tabla 4-3: Total, Costos Directos

Descripción	Cantidad
Materiales	972,35
Equipos	55
TOTAL	1027,35

Fuente: Autores

4.2. Costos indirectos.

Los costos indirectos son denominados así porque no actúan directamente en la fabricación del producto. Los costos de mano de obra se dan por los procesos de construcción de la carrocería.

Tabla 4-4: Costos de mano de obra

Descripción	Costo [USD]
Asesoría externa	100
Mano de obra	500
Total	600

Fuente: Autores

- También se puede tomar como costos indirectos los siguientes ítems.

Tabla 4-5: Costos extras

ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Transporte	2	$ 80	$ 160
Alimentación	2	$ 35	$ 70
Impresiones	--------	--------	$ 80
Copias	--------	--------	$ 20
Empastados	--------	--------	$ 20
Total			$ 350

Fuente: Autores

Tabla 4-6: Total, Costos Directos

Descripción	Cantidad
Mano de obra	600
Extras	350
TOTAL	950

Fuente: Autores

4.3. Costos totales.

Se suman los costos directos en indirectos para tener un total aproximado del costo del proyecto.

Tabla 4-7: Total, Costos Directos

Descripción	Cantidad
Costos directos	1027,35
Costos indirectos	950
TOTAL	1977,35

Fuente: Autores

4.4. Conclusiones y recomendaciones.

4.5. Conclusiones.

Se recopiló información acerca del reglamento de la norma SAE 2017-2018, que conjuntamente con la aplicación de normas ASTM D-3039; ASTM D-7264; ASTM D-6110, destinadas para los ensayos destructivos del material compuesto usado, ayudaron a construir un diseño óptimo y eficaz de pontones para vehículo de Fórmula SAE, de esta manera se cumple requisitos aerodinámicos y condiciones de reglamento.

Se comprobó que a través de ensayos de tracción, flexión e impacto por medio de probetas sujetas a construcción según normas ASTM, se logra un tener una correcta selección de materiales con un espesor adecuado de 3 mm para nuestro caso, dándonos como resultados propiedades físicas y mecánicas óptimas para la mejora del prototipo.

Se realizó 3 diseños con la ayuda de *Solidwork*, y se simuló bajos los mismos parámetros y condiciones en el software *Ansys Fluent* 18.0, obteniendo distintas valores, posteriormente comparándolos se eligió el mejor diseño, que para nuestro caso fue el diseño número 3, cabe recalcar que en comparación con el prototipo anterior se logra una mejoría en el coeficiente de sustentación de 0,14 a 0,18 y del coeficiente de arrastre de 0,42 a 0,086, teniendo en cuenta que la simulación del prototipo anterior se la hace a toda la carrocería mientras que la nuestra se simula solo los pontones y aun así existe una ganancia en los dos coeficientes.

Se comprobó que el proceso de manufactura de estratificación manual y secado al ambiente, para la fabricación tanto de moldes como de las piezas finales es el adecuado para las condiciones de diseño y construcción de pontones de un vehículo de Fórmula SAE, debido a que dicho proceso nos permite crear piezas de dimensiones grandes y con altos contenidos en refuerzos sin contar con un horno de secado o algún tipo de mecanismo para el curado y secado.

La fibra de carbono es una buena alternativa para reemplazar la fibra de vidrio o cualquier tipo de acero estructural, debido a las propiedades físicas y mecánicas que brinda, mejorando a relación volumen- peso y ayudando significativamente la aerodinámica del vehículo, factor importante para obtener una mejor maniobrabilidad en curvas y reducir el consumo de combustible.

Se construyó los pontones en fibra de carbono con resina Epofix, los cuales forman parten del conjunto aerodinámico del vehículo de Fórmula SAE, que en comparación con el diseño anterior, se mejora la relación volumen- peso, reduciendo el coeficiente resistencia al avance, y mejorando notablemente propiedades como resistencia al impacto, teniendo un mayor esfuerzo de flexión y tracción, todo esto probado con ensayos realizados en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua según normativa ASTM.

4.6. Recomendaciones.

Tomar en cuenta como primer paso, la información total acerca de las normas que exige el reglamento de la Fórmula SAE, para que la construcción del vehículo cumpla con los requisitos y no sea motivo de descalificación.

Tratar de obtener el auspicio de empresas para la fabricación del vehículo SAE, debido al alto costo que demanda.

Capacitarse acerca de la manipulación de fibra de carbono y resina Epofix, para que el proceso de manufactura sea el adecuado y no exista errores sobre todo en la mezcla de resina, evitando que esta se corte, pero aun que dicha resina no compacte.

Usar equipo adecuado de protección personal, como guantes mascarilla y mandil, debido a la alta toxicidad que demanda el proceso de fabricación

.

Bibliografía:

SEPÚLVEDA ÁVILA, Diego Edgardo. Determinación de cargas y momentos aerodinámicos en el álabe de una turbina eólica tipo Darrieus de pequeña escala [En línea] (Trabajo de Titulación) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Momentos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Chile. 2014. pp. 1-107. [Consulta: 2018-05-15]. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116124/cf-sepulveda_da.pdf?sequence=1

AGUIRRE GÓMEZ, Fredy Alexander. Análisis aerodinámico del vehículo para la competencia Eco-Shell [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, España. 2009. pp. 8-48. [Consulta: 2018-06-20]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58846/TFM%20%20Aguirre%20G%C3%B3mez%2C%20F.A..Pdf?sequence=1.

Arteaga, Oscar.; Mena Stalin.: Caiza, Vinicio.: Vilaña, Juan. "Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo Fórmula SAE" n°1 (2015), (Ecuador) pp. 1-12.

ASTM D6110 Determinación de propiedades de impacto Charpy. [En línea]. España. Yahya Gharagozlou, 2018. [Consulta: 27 julio 2018].
Disponible en: http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/plastics/impact/astm-d6110-charpy-impact-properties

Baldeón Balmori, Samuel. En qué año cambio de manera más significativa el diseño de los coches de Fórmula 1. [Consulta: 02 agosto 2018].
Disponible: https://es.quora.com/En-qué-año-cambió-de-manera-más-significativa-el-diseño-de-los-coches-de-Fórmula-1-y-por-qué.

BAYAS GUEVARA, Christian Marcelo, & ROSERO SÁNCHEZ, Diego Ricardo. Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia Fórmula "SAE" en fibra de vidrio, para la Escuela de Ingeniería Automotriz [En línea] (Trabajo de titulación), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Automotriz, Riobamba. 2015. pp. 1-86. [Consulta: 2018-05-30]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4421/1/65T00170.pdf.

CAMÚÑEZ LLANOS, RUBÉN. Elementos y dispositivos aerodinámicos en la Fórmula 1: parte central del vehículo [En línea] (Trabajo de titulación Escuela Técnica Superior d´Enginyeria

Industrial de Barcelona, España. 2014. pp. 1-66. [Consulta: 2018-06.05]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24755/TFG%20memoria.pdf.

Cengel Yunus, A. & Cimbala John, M. *Mecánica de Fluidos* [en línea]. Ebooks Académicos, 1°ed. [Consulta: 01 junio 2018]. Disponible en: https://yidnekachew.files.wordpress.com/2012/05/cengel-cimbala-fluid-mechanics-fundamentals-applications-1st-text-sol.pdf.

Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero [En línea]. Tungurahua: Johanna Monar, & Jimmy Naranjo, 2018. [Consulta: 20 de julio 2018].
Disponible en: http://centrocarrocero.tungurahua.gob.ec/

CHIMBO CHIMBO, Darwin Vinicio, & CRUZ FREIRE JUAN, Juan Diego. Diseño y construcción del piso (fondo plano con difusores) para un vehículo de competencia tipo fórmula "SAE" en fibra natural para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Automotriz, Riobamba. 2016. pp. 1-69. [Consulta: 2018-06-05]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/5167/1/65T00180.pdf.

Comprendiendo un F1 [en linea]. Ion Emparan, 2013. [Consulta: 28 julio 2018].
Disponible en: https://www.formulaf1.es/36459/comprendiendo-un-f1-parte-7/

Estudio de los materiales compuestos [en línea]. Arahal, Hermenegildo Rodríguez Galbarro, 2018. [Consulta en: 26 julio 2018].
Disponible: https://ingemecanica.com/inicio/colaboradores.html

García, Diez S. "Técnica de la estratificación manual aplicada a la escultura: Moldes y contramoldes". *Revista Iberoamerica de Polimeros* García, n°11(4) 2010, (España) pp. 208-221.

ILLESCAS PÉREZ, David. Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Mecánica, España. 2009. pp. 9-109. [Consulta: 2018-05-29]. Disponible en: https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7532/PFC_David_Illescas_Perez.pdf?sequence=1.

MATEOS CORONA, José Luis. Estudio y diseño aerodinámico de un fondo plano para un vehículo Formula Student [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos, España, 2017. pp. 1-52. [Consulta: 2018- 05-20]. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60395/fichero/PFC+Jose+Luis+Mateos+Estudio+y+Dise%C3%B1o+de+un+fondo+plano+para+un+vehiculo+Formula+Student.pdf.

Materiales compuestos [en linea] J.Luis Hernández Rivera, & Jorge García Rocha, 2010.[Consulta: 29 julio 2018].
Disponible en: http://www.cyd.conacyt.gob.mx/240/Articulos/MaterialesCompuestos/MaterialesCompuestos3.html.

Orozco Lozano, W. "Diseño y simulación de las fuerzas de arrastre y sustentación en los autos". *Redalyc.org* [en línea], 2006, (España) 4(2), p.26-33. [Consulta: 21 de mayo 2018]. ISSN 1692-8261 Disponible en: http://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108005.pdf.

PAUTA SOLANO, Juan Fernando, & SANCHEZ RAMIREZ, Miguel Leonardo. Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo Fórmula SAE. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Cuenca. 2014. pp. 1-170. [Consulta: 2018-05-25]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7183/1/UPS-CT004048.pdf.

Que son los materiales compuestos [en línea]. QuimiNet, 2006. [Consulta: 01 agosto 2018].
Disponible: https://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-materiales-compuestos-15015.htm.

SAE, INTERNACIONAL. 2017. Formula SAE Rules 2017-2018. Fórmula SAE rules 2017-2018. [En línea] enero de 2017. [Consulta: 02 de julio 2018]. Disponible en: https://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%20PRELIMINARY.pdf.

SÁNCHEZ VICENTE, Laura. Análisis mecánico y fisicoquímico de un material compuesto de matriz termoestable y refuerzo de fibra de carbono: comparativa de propiedades del material curado fuera y dentro de autoclave. [En línea] (Trabajo de titulación) Universidad Carlos II de Madrid, FIDAMC, España. 2011. pp. 16-125. [Consulta: 2018-05-09]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12436/PFC_Laura_Sanchez_Vicente.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Xabier Carrera, A., Jon Hualde G. & Miguel Mateos, P. “Aerodinámica”. *Arrow* [en línea], 2001, p. 2-19 [Consulta: 2018-06-20]. Disponible en: file:///C:/Users/DELL/Downloads/Aerodin%C3%A1mica.pdf.

.

PLANOS